



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

ALEKSI JUUSELA
TUOTANNON MALLINNUS VIRTUAALISEN RAKENTAMISEN
KONSEPTISSA

Diplomityö

Tarkastaja:
professori Kalle Kähkönen

Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Rakentamisen tiedekuntaneuvoston
kokouksessa 3. helmikuuta 2016

TIIVISTELMÄ

ALEKSI JUUSELA: Tuotannon mallinnus virtuaalisen rakentamisen konseptissa
Tampereen teknillinen yliopisto
Diplomityö, 95 sivua, 5 liitesivua
Toukokuu 2016
Rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma
Pääaine: Rakennustuotanto ja -talous
Tarkastaja: professori Kalle Kähkönen

Avainsanat: Virtuaalinen rakentaminen, tuotanto, tietomalli, aikataulu, visualisointi, BIM, 4D

Rakennusalan nykyiset liiketoimintamallit eivät mahdollista muiden teollisuuden toimialojen kaltaista työn tuottavuuden kehitystä. Työmaan aikataulutus, tehtävien suunnittelu ja hankinnat ovat edelleen heikosti johdettuja. Prosessijohtamisen ja tietomallipohjaisen virtuaalisen rakentamisen kautta halutaan seuraava edistysaskel tuotannon tehostamiseen. Virtuaalista rakentamista ja sen toimintatapoja halutaan pilotoida ja lopulta ottaa käyttöön sopivien toimintatapojen löydyttyä. Tuotanto halutaan valmistella huolellisesti ennen rakentamista, jotta tuotantovaihe on mahdollisimman häiriötön. Tähän pyritään vaikuttamaan kohdeyritykseen niin sanotulla tuotannon mallinnuksella.

Tutkimusmenetelmänä tässä työssä käytettiin tapaustutkimusta, jossa tapauksena oli kohdeyrityksen sen hetkinen tuotannon mallinnus ja sen kehittäminen. Tiedonkeruumenetelmänä tutkimuksessa käytettiin kirjallisuuskatsausta, haastattelututkimusta ja työpajoja. Kirjallisuustutkimuksen kautta saatiin kartoitettua nykyaikaisen tuotannon suunnittelun toimintatapoja, kuten 4D-työskentelyä ja visuaalista tiedon esitystapaa. Haastattelututkimuksella selvitettiin virtuaalisten keinojen ja tuotannon mallinnuksen tuotoksien tarvetta. Työpajoissa pohdittiin virtuaalista rakentamista ja tuotannon mallinnuksen tulevaisuutta ja tuotannon mallinnuksen tuotoksien ominaisuuksia. Tutkimuksessa painotettiin visuaalisten ratkaisujen esilletuomista.

Työn päätuloksena saatiin kehitystoimenpiteet tuotannon mallinnuksen viemiseksi kohti virtuaalista rakentamista. Tärkeimpinä kehitysalueina ovat yleisesti tuotannon suunnittelun ja kuvaamisen kehittämisen lisäksi tiedolla oppiminen, riskien hallinta sekä henkinen pääoma ja viestintä. Tuotannon mallinnuksen lisäksi parannettavaa on osaprosesseissa, jotka liittyvät tuotannon mallinnukseen. Tällöin rakennushankkeen tuotannon suunnittelua tulisikin optimoida osaprosessien sijasta kokonaisuutena ja lopulta mukaan tulisi ottaa myös rakennushankkeen kaikki vaiheet ja toimijat. Virtuaalisen rakentamisen käyttöönoton myötä rakennushankkeessa olevat ihmiset, prosessit ja teknologia sidotaan yhteen toimivaksi kokonaisuudeksi.

Diplomityö tehtiin Fira Oy:lle yhteistyössä Tampereen teknillisen Yliopiston kanssa. Fira Oy:tä kutsutaan tässä työssä jatkossa kohdeyritykseksi.

ABSTRACT

ALEKSI JUUSELA: Construction production modelling within the concept of virtual design and construction

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 95 pages, 5 Appendix pages

May 2016

Master's Degree Programme in Civil Engineering

Major: Construction production and economy

Examiner: Professor Kalle Kähkönen

Keywords: Virtual Design and Construction, production, building information model, schedule, visualization, BIM, 4D

The old-established business models in construction industry are slowing down the development of productivity in contrast to other industrial sectors. The construction site scheduling, task planning and procurement are still poorly managed. The next step in improving the production efficiency is needed through process management and building information model based virtual design and construction. There is a need to test out the practices of virtual design and construction and eventually implement suitable practices to the company's operation. There is a need to prepare the construction production phase carefully before the actual construction phase starts to prevent disruptions. Fira's so called construction production modelling is introduced to answer the challenges of meticulous production preparation.

The research method used in this thesis was case study. The case study was targeted towards the development of Fira's construction production modelling. Data collection methods include literature review, interview study and workshops. The modern VDC production planning methods were surveyed through literature review including 4D-modelling and visual presentation of information. The interview study focused on finding out the need to implement additional VDC methods to construction production modelling. The workshops were carried out to find out which are the actual features of Fira's construction production modelling. The solutions implementing visual presentation methods were highlighted as the research was executed.

The main findings of the research were the development measures that drive the production modelling toward the concept of virtual design and construction. The most important themes in the development include the development of production planning and its representation techniques in general, risk management, intellectual capital and communication. In addition to the development of production planning, there elicited a need to improve other subprocesses that are affiliated with production planning. Thus the optimization of the construction project as an entirety should be favored instead of the optimization of various subprocesses separately. Ultimately it is highly essential to take all of the construction projects phases and participants into account as a whole. The implementation of VDC ties people, processes and technology in to a purpose-built ensemble.

The thesis was made for Fira Oy in collaboration with Tampere university of technology.

ALKUSANAT

Diplomityöni sai alkunsa vuoden 2015 alkusyksyllä Rakennetaan Yhdessä Virtuaalisesti Ensin -projektin ansiosta. Diplomityö oli myös yksi kolmesta muusta samaan aikaan alkavasta diplomityöstä. Firan tuotannon mallintamisen ja virtuaalisen rakentamisen kehitystyössä päästiin useita askelia eteenpäin diplomityön edetessä ja sain olla yksi niistä onnekkaita, jotka pääsivät seuraamaan mielenkiintoista kehitystyötä ja jotka pääsivät myös vaikuttamaan kehitystyön tuloksiin osaavien ammattilaisten parissa. Diplomityön tekemisen aikana oman aihealueen tietouden lisääntymisen ja ajattelumallien kehittymisen huomaaminen on ollut äärimmäisen innostavaa ja se on saanut aikaan positiivisen innostuksen kierteen edelleen uuden oppimisen ja ymmärryksen syventämisen suhteen.

Haluankin täten kiittää työnantajaani Fira Oy:tä, haastatteluihin osallistuneita Firan työntekijöitä, työpajoihin osallistuneita tuotannon mallintajia ja kaikkia niitä, jotka ovat olleet tekemässä tätä tutkimusta mahdolliseksi. Erityiskiitos kuuluu Janne Lahdelle tutkimuksen aktiivisesta ja ajantasaisesta ohjaamisesta, neuvoista ja kommenteista. Kiitokset myös Otto Alhavalle sekä Jari Koivulle aiheeseen perehdyttämisestä ja mielenkiintoisen tutkimusaiheen antamisesta. Kiitokset myös Tampereen teknilliselle yliopistolle ja Kalle Kähköselle työn ohjaamisesta. Kiitokset Firan Tampereen konttorin henkilökunnalle mukavan työilmapiirin luomisesta ja yhtä lailla Vantaan konttorin päässä työskenteleville henkilöille lämpimästä, avuliaasta ja vastaanottavasta asenteesta. Viimeisenä mutta ei vähäisimpänä haluan kiittää sydämellisesti Sini Vanhamäkeä, vanhempiani sekä muita läheisiäni ja ystäviäni, jotka ovat olleet tukenani opiskelujeni aikana ja diplomityötä tehdessä.

Tampereella, 5.5.2016

Aleksi Juusela

SISÄLLYSLUETTELO

| | | |
|-------|---|----|
| 1. | JOHDANTO | 9 |
| 1.1 | Tutkimuksen tausta | 9 |
| 1.2 | Tutkimuksen rakenne ja tavoitteet | 10 |
| 1.3 | Tutkimuksen rajaukset | 12 |
| 1.4 | Tutkimuksen tulokset | 13 |
| 2. | VIRTUAALINEN RAKENTAMINEN | 14 |
| 2.1 | Tietomallipohjainen suunnittelu..... | 14 |
| 2.2 | Lean Production ja LPDS..... | 15 |
| 2.3 | POP-malli | 17 |
| 2.4 | Integrated Project Delivery | 19 |
| 2.5 | Virtuaalinen rakentaminen otetaan käyttöön vaiheittain..... | 19 |
| 2.6 | Virtuaalisen rakentamisen käyttöönoton haasteet | 21 |
| 2.7 | Yhteistyön merkitys korostuu | 21 |
| 3. | TUOTANNON MALLINNUS | 23 |
| 3.1 | 4D-mallit rakentamisen valmistelussa | 23 |
| 3.2 | Kriittisen polun menetelmä ja sijaintipohjainen aikataulu | 24 |
| 3.3 | Tahtiaikataululla vähennetään hukkaa | 25 |
| 3.4 | Visuaalisuuden hyödyt | 27 |
| 3.5 | Vakioitu värijärjestelmä havainnollistaa nopeasti tietoa..... | 28 |
| 3.6 | Visuaalinen johtaminen | 30 |
| 3.7 | Huolellinen tuotannon suunnittelu | 32 |
| 3.8 | 4D-suunnittelun esimerkkejä | 33 |
| 3.8.1 | Esimerkki 1: 4D aikataulu ja logistiikka..... | 33 |
| 3.8.2 | Esimerkki 2: Tietomallipohjainen logistiikan suunnittelu | 34 |
| 3.8.3 | Esimerkki 3: 4D-avusteisen rakentamisen koordinoinnin prosessi..... | 36 |
| 4. | TUTKIMUKSEN SUORITUS | 38 |
| 4.1 | Kirjallisuuskatsaus ja sen toteutus | 38 |
| 4.2 | Teemahaastattelut ja niiden toteutus | 39 |
| 4.3 | Työpajat ja niiden toteutus | 41 |
| 5. | TULOKSET JA NIIDEN TULKINTA | 43 |
| 5.1 | Kirjallisuuskatsauksen yhteenveto | 43 |
| 5.1.1 | Virtuaalinen rakentaminen ja sen haasteet lyhyesti | 45 |
| 5.1.2 | Esimerkkikohteiden prosessien tulkinta..... | 46 |
| 5.2 | Haastattelujen aineiston tulkinta, kuvaus ja tulokset | 48 |
| 5.2.1 | Ymmärrettävä visuaalinen esitys ja 3D-tekniikat | 49 |
| 5.2.2 | 3D-työkalujen käyttämisen haasteet | 52 |
| 5.2.3 | Nykyiset toimintatavat ja kehitysehdotukset | 53 |
| 5.2.4 | Informaation tarve tuotannon suunnittelussa | 55 |
| 5.2.5 | Informaation käyttäminen ja järjestäminen..... | 58 |

| | | |
|-------|---|----|
| 5.2.6 | Tuotannon suunnittelun epäselvät asiat | 61 |
| 5.2.7 | Visuaalinen johtaminen ja viestintä | 63 |
| 5.2.8 | Informaation hyödyntäminen jatkotyöskentelyssä..... | 65 |
| 5.2.9 | Kohti parempaa tuotannon suunnittelua | 66 |
| 5.3 | Työpajojen tulokset | 67 |
| 5.3.1 | Työpaja 1: Tulevaisuuden visio ja ideat | 67 |
| 5.3.2 | Työpaja 2: Tuotannon mallinnuksen mahdollisuudet..... | 70 |
| 6. | TULOSTEN TARKASTELU JA ANALYYSI..... | 75 |
| 6.1 | Tuotannon aikataulupohjainen suunnittelu | 75 |
| 6.2 | Tuotannon 4D- ja 5D-mallien tarkastelu..... | 76 |
| 6.3 | Aluesuunnittelu ja logistiikka..... | 77 |
| 6.4 | Tiedon tarpeellisuuden tarkastelu..... | 78 |
| 6.5 | Tiedonhallinta..... | 80 |
| 6.6 | Tietotekniikkaan liittyvä aineeton pääoma ja sen potentiaali | 81 |
| 6.7 | Visualisoidun tiedon kautta johtaminen ja viestintä | 83 |
| 7. | TOIMENPIDE-EHDOTUKSET | 84 |
| 7.1 | Parhaimmat tuotannon mallintamisen toimintatavat ja käyttöönotto..... | 84 |
| 7.2 | Tuotannon mallinnuksen kehittäminen | 85 |
| 8. | JOHTOPÄÄTÖKSET..... | 89 |
| 8.1 | Vastaaminen tutkimuskysymyksiin..... | 89 |
| 8.2 | Kirjallisuuskatsauksen kattavuus | 90 |
| 8.3 | Teemahaastattelun luotettavuus | 91 |
| 8.4 | Työpajojen vaikutus tutkimuksen tuloksiin | 91 |
| 8.5 | Työskentely kohdeyrityksessä tutkimuksen aikana | 92 |
| 8.6 | Jatkotutkimusehdotukset | 93 |
| | LÄHTEET | 94 |

LIITE 1: Huolellisen tuotannonsuunnittelun logiikka -kaavio

LIITE 2: Tuotantosuunnittelun kulku Firalla

LIITE 3: Teemahaastattelun runko

LIITE 4: Elementtiasennusaikataulun visualisointi tietomallin ja aikataulutiedon avulla Solibrissa

LIITE 5: Tuotannon mallinnuksen kehittäminen kohti virtuaalista rakentamista

LYHENTEET JA MERKINNÄT

| | |
|----------|--|
| 4D-malli | Rakennuksen 3D-malli, johon on liitetty aikataulutietoa. |
| 5D-malli | Rakennuksen 3D-malli, johon on liitetty aikataulutietoa ja kustannustietoa. |
| BIM | Building Information Modeling on tietomallintamista ja käsittää toimintatavan, jossa rakennusten suunnittelussa hyödynnetään tietokoneavusteista 3D-mallintamista, tietomallin tietorakenteita ja suunnittelutyötä parantavia työkaluja. |
| CIFE | Center for Integrated Facility Engineering on Stanfordin yliopiston virtuaalisen rakentamisen tutkimuskeskus. |
| IPD | Integrated Project Delivery, joka on etenkin Yhdysvalloissa käytetty allianssirakentamisen toteutusmuoto. |
| LBMS | Location Based Management System on sijaintiin perustuva aikataulunhallintajärjestelmä. |
| LPDS | LPDS eli Lean Project Delivery System on Lean Construction Instituution kehittämä Lean-projektien läpiviemiseen tarkoitettu malli. |
| POP | Product, Organization and Process on Tuote-Organisaatio-Prosessi -malli, jossa yhdistyvät rakennushankkeen tuotteet, organisaatio ja prosessi. |
| VDC | Virtual Design and Construction on virtuaalista suunnittelua ja rakentamista, jossa yhdistyvät ihmiset, prosessit ja tietotekniikka yhtenäiseksi kokonaisuudeksi. |

KESKEISET KÄSITTEET

| | |
|-----------------------------------|---|
| Huolellinen tuotannon suunnittelu | Kohdeyrityksen huolellisen tuotannon suunnittelun malli selkeyttää tuotannon tärkeimpien suunnitelmien ja työkokonaisuuksien ja tuotosten suhteita keskenään. Mallista voidaan nähdä tuotosten keskeisiä riippuvuuksia ja myös, kuinka Big Room työskentely liittyy tuotannon mallintamiseen rakennusprosessin edetessä. Malli on vielä kehitysasteella kohdeyrityksessä. |
| Lean-filosofia | Lean-filosofian avulla tunnistetaan tuotannossa asiakkaalle arvoa tuottavat asiat ja eliminoidaan hukka, muodostetaan jatkuva virtaus, käytetään seuraavista vaiheista muodostuvaa imua, toimitetaan oikeat laatuasetukset täyttävä tuote asiakkaalle varastoimatta tavaraa sekä pyritään parantamaan jatkuvasti toimintaa. |
| Tiedonhallinta | Toimivalla tiedonhallinnalla varmistetaan, että oikea tieto on oikeassa muodossa oikeaan aikaan oikeassa paikassa. Tiedonhallinnan avulla nostetaan tiedon luotettavuutta ja käytettävyyttä. |
| Tuotannon mallinnus | Kohdeyrityksen tuotannon mallinnus on rakennushankkeen huolellista, vuorovaikutteista ja visuaalista rakentamisen valmistelua, jolla pyritään havainnollistamaan mitä hankkeen toteuttaminen vaatii, miten oikea osaaminen liitetään oikeaan aikaan hankkeeseen ja miten hanke lopulta toteutetaan. Tuotannon mallinnuksen tavoitteena on iteroida hankkeen toteuttamista ja lopulta kuvata erilaisilla aikatauluilla ja 3D-suunnitelmilla häiriötön ja paras mahdollinen tapa suorittaa rakennusvaihe, ottaen huomioon hankkeen ja sen toimijoiden lähtötiedot ja vaatimukset. |
| Työpaja | Työpaja on palaverin ja ryhmätyöskentelyn väli-muoto, jossa työskennellään yhdessä asetettuja tavoitteita kohti yleensä yhden henkilön vetämänä intensiivisesti lyhyen ajanjakson ajan. Työpajan tavoitteisiin kuuluvat yleensä tietyntyyppiset tulosvaatimukset. |

Virtuaalinen rakentaminen

Virtuaalisessa rakentamisessa rakentamista simuloidaan ja optimoidaan rakentamista rakennuksen virtuaalisen mallin avulla ennen varsinaista tuotannon aloittamista. Virtuaalisessa mallissa yhdistyvät rakennushankkeen erilaisten toimialojen tietomallit ja tiedot yhtenäiseksi kokonaisuudeksi. Monialainen data pyritään yhtenäistämään ja antamaan kaikkien käyttöön.

1. JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen tausta

Rakennusalan nykyiset liiketoimintamallit eivät mahdollista muiden toimialojen kaltaista työn tuottavuuden kehitystä, ja osin siksi rakennusalan tuottavuus on heikkoa. (Herrala 2015) Työmaan aikataulutus, tehtävien suunnittelu ja hankinnat ovat edelleen heikosti johdettuja. Nykyään tuotannon suunnittelu nojautuu työmaan toimihenkilöiden työpanokselle, jolla valmistellaan rakennusvaihe tuleviin käytännön haasteisiin yleensä liian myöhään riittämättömillä resursseilla tai jopa vasta rakentamisen aikana. Tähän pyritään vaikuttamaan huolellisemmalla tuotannon suunnittelulla, jonka tarkoituksena on edesauttaa tuotannon entistä parempaa läpivirtausta. Huolellisen tuotannon suunnittelun nyky aikaisten toimintatapojen soveltajina ja käyttäjinä toimivat erikseen nimetyt niin sanotut tuotannon mallintajat, jotka suunnittelevat ja kokoavat rakennushankkeen aikataulutietoa ja valmistelevat tuotannon suunnitelmia. (Fira 2015)

Tuotannon mallintaminen oli vielä terminä heikosti määritelty tutkimustyön alussa ja käsitteitä osittain edelleenkin täysin uutta toimintaa. Tuotannon mallinnus kohdeyrityksessä on määritelty muun muassa seuraavasti:

”Tuotannon mallinnus on rakentamisen ja rakentamisen valmistelun logiikan esilletuontia aikataulujen ja erilaisten 3D-suunnitelmien kautta.” (Fira 2015)

Diplomityön loppuvaiheessa asiasta on muodostunut kuitenkin yllättävän laaja kokonaisuus, jota tutkija on kuvannut seuraavalla tavalla:

Tuotannon mallinnus on rakennushankkeen huolellista, vuorovaikutteista ja visuaalista rakentamisen valmistelua, jolla pyritään havainnollistamaan mitä hankkeen toteuttaminen vaatii, miten oikea osaaminen liitetään oikeaan aikaan hankkeeseen ja miten hanke lopulta toteutetaan. Tuotannon mallinnuksen tavoitteena on iteroida hankkeen toteuttamista ja lopulta kuvata erilaisilla aikatauluilla ja 3D-suunnitelmilla häiriötön ja paras mahdollinen tapa suorittaa rakennusvaihe, ottaen huomioon hankkeen ja sen toimijoiden lähtötiedot ja vaatimukset.

Virtuaalisessa rakentamisessa (VDC) rakentamista simuloidaan ja optimoidaan ennen varsinaista rakentamista muun muassa tietoteknisten ratkaisujen avulla. VDC:ssa yhdistyvät rakennushankkeen erilaisten toimialojen tietomallit ja tiedot yhtenäiseksi kokonaisuudeksi. Monialainen data pyritään yhtenäistämään ja antamaan kaikkien käyttöön. Virtuaalista rakentamista ja sen toimintatapoja halutaan pilotoida ja lopulta ottaa käytäntöön kohdeyrityksessä sopivien tuotannon mallinnustapojen löydyttyä. Virtuaalista rakentamista on tutkittu melko laajasti jo pitkään (Alarcón et al. 2013) (Kunz & Fischer 2012)

(Khanzode et al. 2006) (Fischer & John 2004) (Rischmoller et al. 2001). Tutkimuksissa ollaan yksimielisiä virtuaalisen rakentamisen hyödyistä, mutta siihen sisältyy myös paljon haasteita. Lisäksi yleisesti rakennusalaalla on tärkeää hyödyntää tietotekniikkaa, tietomalleja ja yhtenäistä tiedon käyttötapaa läpi rakennusprojektin, jotta työ on tehokasta ja suunnitteluratkaisujen iterointimahdollisuudet paranevat. (Gilligan & Kunz 2007) (Mäki et al. 2012) Lisäksi jaettavan tiedon kannalta on huomioitava tarvittavien lähtötietojen saatavuus ja tiedon jatkuva jalostaminen, jotta eri sidosryhmät voivat hyödyntää tietoa työssään mahdollisimman tehokkaasti ja läpinäkyvästi. (Linderoth 2010)

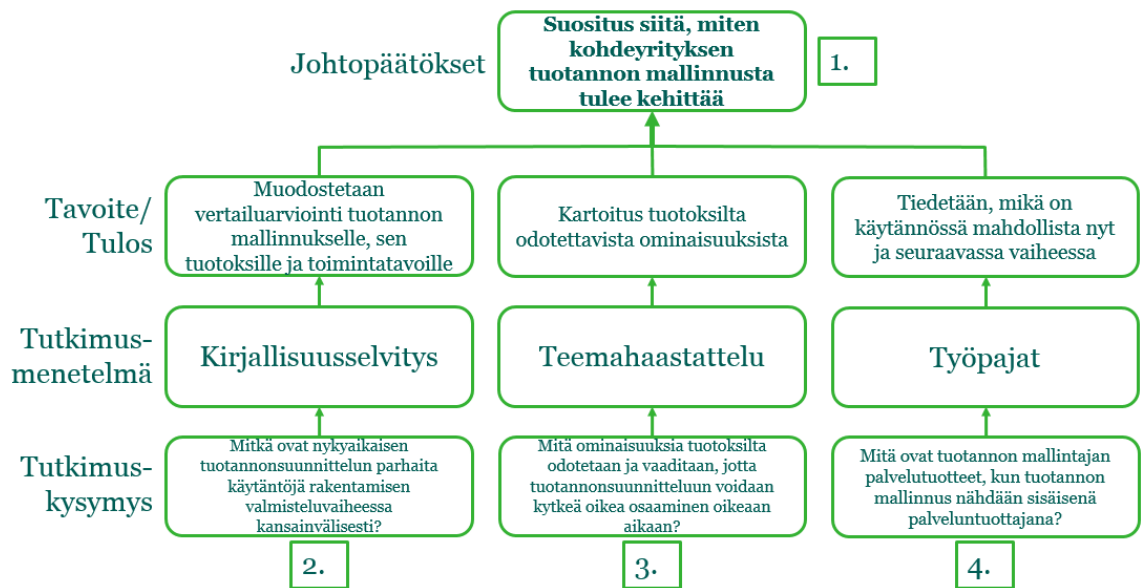
”Digitaalisuuden tuoma muutos koskee myös kiinteistö- ja rakennusala. Rakentaminen jos mikä on oikean tiedon siirtämistä oikeaan aikaan oikeaan paikkaan. Esimerkiksi käyttäjätiedon keräämiseen käytetään varsinkin sairaalahankkeissa jo avuksi visualisointia eli virtuaalitilaa, jossa lääkärit ja hoitajat voivat virtuaalilasit päässään kävellä kommentoimaan suunniteltua tilaa. Virtuaalimallissa muutokset on paljon nopeampi ja halvempi tehdä kuin valmiissa talossa.” (Mölsä 2015)

Kohdeyrityksessä prosessijohtamisen ja tietomallipohjaisen rakentamisen kautta halutaan seuraava edistysaskel tuotannon tehostamiseen. Tutkimus tuotannon mallintamisesta tulee olla kansainvälisellä tasolla ja sen määrittämisessä tulee ottaa huomioon nykyaikaisimmat alan toimintatavat. Tuotannon suunnitelmia voidaan tuotannon mallinnuksen ansiosta hyödyntää jo työmaan alusta alkaen tehokkaasti. Tuotokset toimivat luotettavana pohjana työmaalla tehtäville tarkemmille suunnitelmille ja käytettäville menetelmille.

1.2 Tutkimuksen rakenne ja tavoitteet

Työn suorittaminen on kuvattu prosessikaavion kautta Kuva 1. Tässä prosessikaaviossa on kuvattu tutkimukselle asetetut tutkimuskysymykset, tutkimusmenetelmät ja tavoitteet. Lopullisena tuloksena työn valmistuttua tiedetään, kuinka kohdeyrityksen tuotannon mallinnusta tulisi kehittää, ja miltä tuotannon mallinnuksen tulevaisuus näyttää. Tutkimuskysymykset antavat tulokset, joiden perusteella voidaan saavuttaa osatavoitteet ja lopulta päätutkimuskysymyksen vastauksena saadaan johtopäätökset. Alempana on lueteltu kysymykset, joista ensimmäinen on päätutkimuskysymys.

1. Päätutkimuskysymys: Miten kohdeyrityksen nykyistä tuotannon mallinnuksen toimintatapaa tulee kehittää kohti virtuaalista rakentamista?
2. Mitkä ovat nykyaikaisen tuotannonsuunnittelun parhaita käytäntöjä rakentamisen valmisteluvaiheessa kansainvälisesti?
3. Mitä ominaisuuksia tuotoksilta odotetaan ja vaaditaan, jotta tuotannonsuunnitteluun voidaan kytkeä oikea osaaminen oikeaan aikaan?
4. Mitä ovat tuotannon mallintajan palvelutuotteet, kun tuotannon mallinnus nähdään sisäisenä palveluntuottajana?



Kuva 1: Tutkimustyön suorittamisen prosessikaavio

Jotta päätutkimuskysymykseen ”1. Miten kohdeyrityksen nykyistä tuotannon mallinnuksen toimintatapaa tulee kehittää kohti virtuaalista rakentamista?” voidaan vastata, tulee valita tutkimusmenetelmä. Varsinaiseksi tutkimusmenetelmäksi tälle työlle on valittu tapaustutkimus. Tapaustutkimuksen kohteena tässä tutkimuksessa on kohdeyritys ja sen toiminta tuotannon mallinnuksen osalta. Tapaustutkimuksen avulla saadaan kerättyä yksityiskohtaista ja intensiivistä tietoa yksittäisestä tapauksesta. Aineistonkeruumenetelminä käytettiin kirjallisuuskatsausta, teemahaastattelua ja työpajoja, joilla pystyttiin vastaamaan osatavoitteisiin. Aineistonkeruumenetelmien kautta saadun tiedon avulla päästään vastaamaan lopulta päätutkimuskysymykseen.

Ensimmäisenä osatavoitteena on tehdä kirjallinen vertailuarviointi tuotannon mallinnukselle kirjallisuuskatsauksen avulla. Tähän vertailuarviointiin liittyvät tuotannon suunnittelun tuotokset ja sen nykyaikaiset toimintatavat painottaen visuaalista sekä helposti ymmärrettävää tuotoksien esitystapaa. Tavoitteena on saada laajaa kansainvälistä selvitystä virtuaalisesta rakentamisesta ja kaikista moderneimmista tuotannon suunnittelun työtapoista painottaen visuaalisia ja 4D-suunnittelun keinoja ja verrata niitä teemahaastattelun tuloksiin. Ensimmäiseen osatavoitteeseen päästään vastaamalla tutkimuskysymykseen ”2. Mitkä ovat nykyaikaisen tuotannosuunnittelun parhaita käytäntöjä rakentamisen valmisteluvaiheessa kansainvälisesti?”.

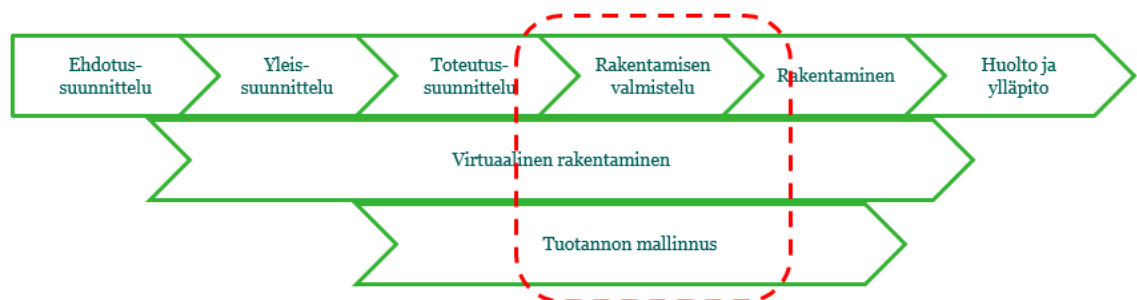
Toinen osatavoite on selvitys tuotannon mallintamisen uusien ja nykyisten tuotoksien odotettavista ominaisuuksista. Selvitys suoritettiin haastattelututkimuksen avulla. Selvityksessä hyödynnettiin tuotannon mallinnuksen tuotteita käyttäviä sidosryhmiä, kuten hankintaa, kustannuslaskentaa, suunnittelunohjausta ja työmaan toimihenkilöitä. Tavoitteena oli saada tuotannon mallinnuksen puutteista ja tarpeista selkeämpi kuva, jotta tuotannon mallinnuksen työpanos osataan suunnata oikein ja jotta tuotteita voidaan kehittää

entistä paremmin tarvetta vastaaviksi. Toiseen osatavoitteeseen päästään vastaamalla tutkimuskysymykseen ”3. Mitä ominaisuuksia tuotoksilta odotetaan ja vaaditaan, jotta tuotannonsuunnitteluun voidaan kytkä oikea osaaminen oikeaan aikaan?”.

Kolmantena osatavoitteena on kerätä tietoa siitä, minkälaisia tuotannon suunnitelmia on käytännössä mahdollista tuottaa nyt ja lähitulevaisuudessa tuotannon mallintamisen tuotoksien tarpeen ja tavoitteen kohdatessa. Keskustelu tuotannon mallintamisen tuotoksista ja tarpeiden täyttämistä oli tärkeää tuotannon mallintajien kanssa. Osatavoitteen saavuttamiseksi käytettiin tiedonkeruumenetelmänä työpajoja ensisijaisesti tuotannon mallintajien ja ensimmäisessä työpajassa myös kehityspäällikön kanssa. Näissä työpajoissa keskusteltiin tuotannon mallinnuksen tulevaisuudesta, tarpeista sekä nykyisistä ja uusista mahdollisuuksista. Tuotannon mallintajien tekemät tuotokset voidaan ymmärtää palveluina tuotoksien käyttäjille tuotannon mallintajien ollessa palveluiden tarjoajia. Kolmannen osatavoitteeseen päästään vastaamalla tutkimuskysymykseen ”4. Mitä ovat tuotannon mallintajan palvelutuotteet, kun tuotannon mallinnus nähdään sisäisenä palveluntuottajana?”.

1.3 Tutkimuksen rajaukset

Nykyisessä muodossaan tuotannon mallinnus tarkoittaa rakentamisen valmisteluvaiheen huolellista tuotannonsuunnittelua. Tässä työssä rajoitutaan tarkastelemaan ensisijaisesti tuotannon suunnittelun työtehtäviä, tuotoksia sekä visuaalisia ja 3D-työskentelyä hyödyntäviä työtapoja. Rakennushankkeen ajallisessa tarkastelussa rajoitutaan rakentamisen valmisteluvaiheeseen, kuten oheisesta Kuva 2: Tuotannon mallinnuksen sijoittuminen virtuaaliseen rakentamiseen ja rakennushankkeen vaiheisiin nähden. Diplomityön fokus on havainnollistettu katkoviivan sisään jäävällä alueella. nähdään.



Kuva 2: Tuotannon mallinnuksen sijoittuminen virtuaaliseen rakentamiseen ja rakennushankkeen vaiheisiin nähden. Diplomityön fokus on havainnollistettu katkoviivan sisään jäävällä alueella.

Visuaalinen apu on tärkeässä asemassa tuotannon mallinnuksessa ja tutkimustyötä tehdessä sen implementoivat toimintatavat ovat kärkisijalla tutkittavien menetelmien joukossa. Visuaalisuudesta on kiistaton apu informaation omaksumisen kannalta etenkin niillä rakennushankkeen sidosryhmillä, joilla ei ole tarpeeksi teknistä rakennusalan osaamista.

Tutkimuksessa ei tutkita syvällisesti asioita, jotka tiedetään entuudestaan tai joita on jo paljon tutkittu kohdeyrityksessä. Tutkija osallistuu ainakin osittain tuotannon mallinnuksessa käytettävien ohjelmien testaukseen ja työn aikana tehtävään kehitystyöhön. Tietoa ohjelmien soveltuvuudesta tuotannon mallinnuksen tarpeisiin kerätään tuotannon mallintajilta, jotka pääasiassa käyttävät ohjelmia tutkimuksen aikana.

1.4 Tutkimuksen tulokset

Tutkimuksen päätavoitteena oli saada selville suositustoimenpiteet siitä, kuinka nykyistä tuotannon mallinnusta voidaan kohdeyrityksessä kehittää eteenpäin. Työn päätuloksena saatiin lopulta kehitystoimenpiteet tuotannon mallinnuksen viemiseksi kohti virtuaalista rakentamista. Tärkeimpinä kehitysalueina ovat yleisesti tuotannon suunnittelun ja sen kuvaamisen kehittämisen lisäksi tiedolla oppiminen, riskien hallinta sekä henkinen pääoma ja viestintä. Tuotannon mallinnuksen lisäksi parannettavaa on osaprosesseissa, jotka liittyvät tuotannon mallinnukseen. Tällöin rakennushankkeen tuotannon suunnittelua tulisi-kin optimoida osaprosessien sijasta kokonaisuutena ja lopulta mukaan tulisi ottaa myös rakennushankkeen kaikki vaiheet ja toimijat. Tutkimuksen aikana huomattiin, että virtuaalisen rakentamisen käyttöönoton myötä rakennushankkeessa olevat ihmiset, prosessit ja teknologia voidaan sitoa yhteen toimivammaksi kokonaisuudeksi.

2. VIRTUAALINEN RAKENTAMINEN

Virtuaalisen suunnittelun ja rakentamisen (VDC) päämääränä on käyttää virtuaalisia rakennuksen malleja rakennushankkeen johtamisessa ja prosesseissa simuloimaan rakentamista ja sen haasteita. Virtuaalisessa rakentamisessa analysoidaan ja simuloidaan rakentamisen sudenkuoppia ja mahdollisuuksia tietokoneavusteisesti ennen varsinaisen toteutusvaiheen aloittamista. (Khanzode et al. 2006) VDC:ssä yhdistyvät rakennushankkeen erilaisten toimialojen tietomallit ja tiedot yhtenäiseksi kokonaisuudeksi. Tämä kokonaisuus antaa rakennushankkeen eri toimijoille mahdollisuuden käyttää monialaista dataa, joka kertoo rakennukselle asetetut tavoitteet. (Kunz & Fischer 2012)

VDC mallit ennustavat ja kuvaavat rakennushankkeessa tapahtuvaa toimintaa, seuraavat tärkeiden vaiheiden täyttymistä ja lopulta kuvaavat kuinka hankkeen tavoitteet on täytetty. VDC:n käytön myötä pyritään suosimaan yhtenäistä ja avointa tiedonsiirtoa, kuten IFC standardeja. (Kunz & Fischer 2012) Tuotteen, organisaation ja prosessin malleja, eli POP-malleja, on mahdollista käyttää rakennushankkeen osakokonaisuuksien analysointiin, jotta rakentamisen ongelmat huomataan ennen varsinaisen rakentamisen suorittamista. (Khanzode et al. 2006) VDC:n käyttöönottavan organisaation täytyy lopulta kehittää oma lähestymistapansa virtuaaliseen rakentamiseen. Virtuaalinen rakentaminen ja sen toimintamallit yleistyvät vähitellen pilottiprojektien ja muiden kokeilujen kautta. Virtuaalisen rakentamisen kokonaisvaltaisemman toteuttamisen implementointiin voi kulua paljon aikaa ja resursseja. (Kunz & Fischer 2012) Tietoteknisten ratkaisujen ja virtuaalisen toimintatavan käyttöönotosta muilla teollisuudenaloilla on kuitenkin ollut hyötyä ja se on parantanut tuottavuutta. (Khanzode et al. 2006)

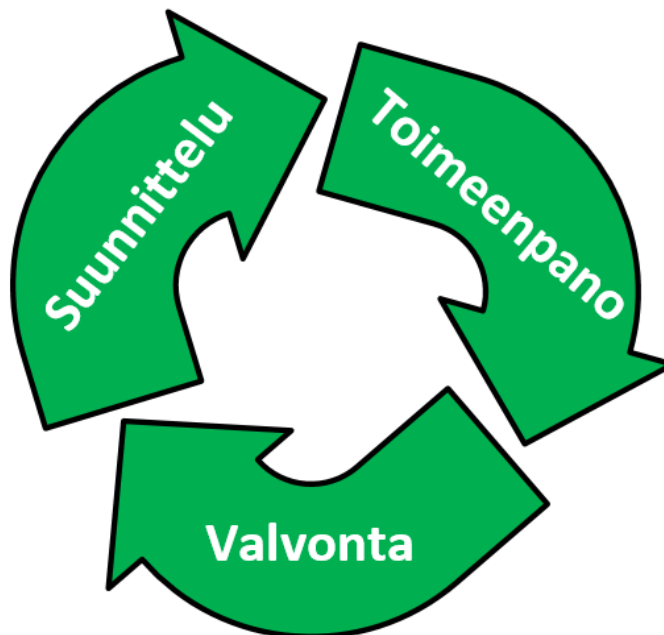
2.1 Tietomallipohjainen suunnittelu

Virtuaalisen rakentamisen keskeisenä osana on tietomallipohjainen suunnittelu. Tietomalleja voidaan käyttää virtuaalisessa rakentamisessa Stanfordin yliopiston virtuaalisen rakentamisen tutkimuskeskuksen CIFE:n kehittämän POP-viitekehityksen mukaan, jolla analysoidaan tuotteen, organisaation ja prosessin välisiä suhteita. Tietomallinnusta käytetään työkaluna virtuaalisessa rakentamisessa muun muassa tuotteen eli rakennuksen visualisoimiseen. (Khanzode et al. 2006)

Tietomallinnuksen päätavoitteena voidaan pitää suunnittelun ja rakentamisen laadun, tehokkuuden, turvallisuuden ja kestäväen kehityksen mukaisen hanke- ja elinkaari-prosessin tukemista. Tietomallinnus mahdollistaa investointipäätösten vertailun, suunnitelmien havainnollistamisen, rakennettavuuden analysoimisen, laadunvarmistuksen, parantaa tiedonsiirtoa ja tehostaa suunnitteluprosessia. Tietomallipohjaisen projektin johtaminen voi-

daan jakaa suunnitteluun, toimeenpanoon ja valvontaan, kuten Kuva 3: Tietomallipohjaisen projektin johtaminen nähdään. Hankkeessa suunnittelun käynnistämisen yhteydessä jaetaan tietomalleihin liittyvät tehtävät eri osapuolille ja samalla varmistetaan, että tietomallinnukseen liittyvät tavoitteet ovat kaikilla osapuolilla tiedossa. (Karjula & Mäkelä 2012)

Tietomallinnus on jo tunnustettu hyväksi tavaksi varmistaa sujuvampi suunnittelun ja koko rakennushankkeen toteutus. Tietomallinnettujen hankkeiden läpiviennissä on kuitenkin vielä kehitettävää etenkin tietosisältöjen ja tietojen jakamisen kannalta. Jotta kehitys olisi mahdollista, tulisi harkita uusia toimintatapoja ja hankintamalleja hankkeen läpiviemisessä. Lisäksi tietomallityöskentelyyn tulisi ottaa mukaan kaikki rakennushankkeeseen osallistuvat jo mahdollisimman varhaisessa vaiheessa. Tietomallintamista tulisi siis tutkia ja kehittää edelleen tukemaan ja palvelemaan paremmin rakennushankkeen tarpeita projektin kaikissa vaiheissa. (Wang & Chong 2015)



Kuva 3: Tietomallipohjaisen projektin johtaminen (Muokattu lähteestä Karjula & Mäkelä 2012)

2.2 Lean Production ja LPDS

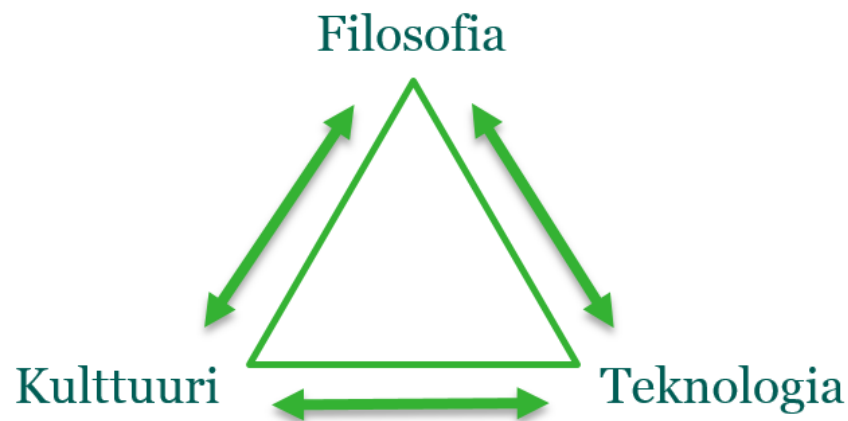
Lean Production on tuotannon johtamista, jossa tavoitteena on ottaa asiakkaan tarpeet paremmin huomioon samalla poistamalla tai minimoimalla asiakkaalle arvoa tuottamattomia hukkaa tuotannon prosessista. Leanin perusajatuksia ovat muun muassa seuraavat asiat:

- Tunnistetaan asiakkaalle arvoa tuottavat asiat ja eliminoidaan hukka.
- Tuotanto järjestetään siten, että tuotantoon muodostuu jatkuva virtaus.

- Käytetään seuraavista tuotantovaiheista muodostuvaa imua.
- Pyritään täydellisyyteen, eli toimitetaan oikeat laatuasetukset täyttävä tuote asiakkaalle varastoimatta tavaraa.
- Pyritään parantamaan jatkuvasti tuotantoa. (Howell 1999)

Lean Production -johtamismalli on pyritty soveltamaan rakennusosalalle Lean Construction tuotannonjohtamisperiaatteen avulla. Rakentamisen johtaminen Leanin kautta on erilaista verrattuna tehdastuotannon johtamiseen. Rakennusprojektin vaiheet tulee jakaa pienempiin osiin niin, että Leanin peruseriaatteita voidaan soveltaa. Jokaista osaa tulee hallita jakamalla vastuut tehtävittäin ja seuraamalla tehtävien etenemistä ja jatkuvasti vertaamalla toteumaa suunniteltuun aikatauluun. Vertailusta saatujen raporttien kautta voidaan ohjata kutakin tehtävää kohti asetettua tavoitetta. Tavoitteeseen pyritään pääsemään esimerkiksi muuttamalla työn järjestystä ja samalla vähentämällä hukkaa. (Howell 1999)

Virtuaalisen rakentamisen ja Leanin välillä vallitsee synergia filosofian ja kulttuurin osalta. Virtuaalisen rakentamisen ja Lean-toimintamallien kautta saavutetaan entistä parempi työn sujuvuus ja tiedon saatavuus projektin jokaiselle toimijalle. Virtuaalisen rakentamisen työkalut mahdollistavat Lean-työskentelyn ja sen päämäärät. Molempien lähestymistapojen tapauksessa tulee kuitenkin tunnistaa molempien lähestymistapojen osa-alueet, jotka ovat filosofia, teknologia ja kulttuuri. Näiden aiheiden tunnistamisella ja yhteisellä käytöllä voidaan saavuttaa suurempaa hyötyä, kuin yksittäin. (Alarcón et al. 2013)



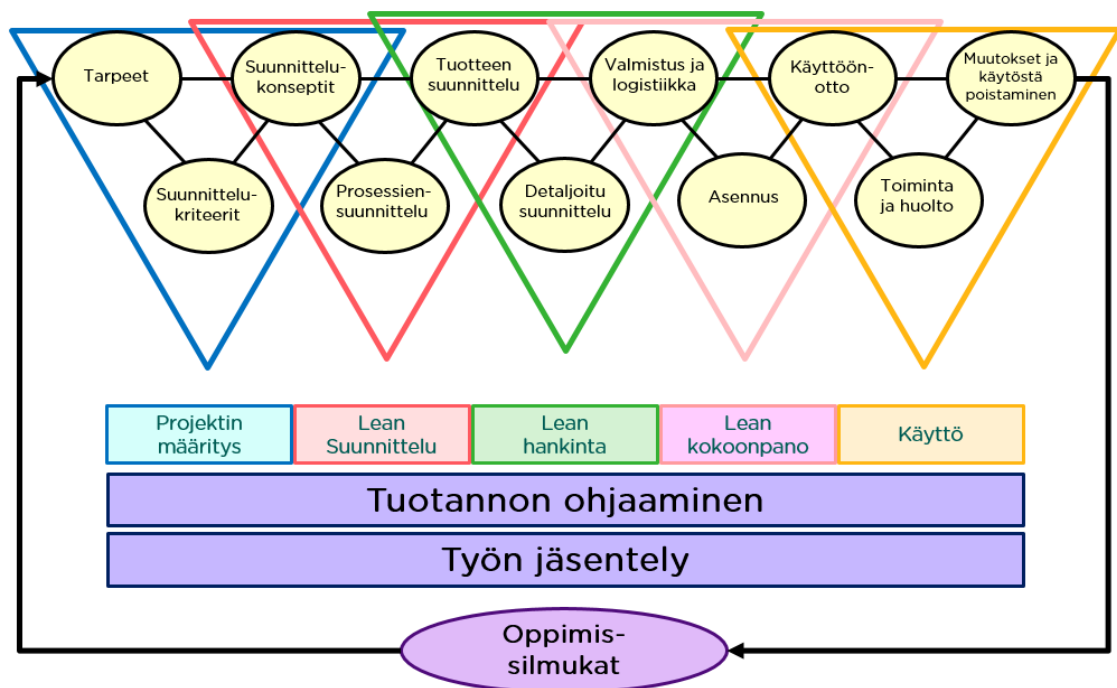
Kuva 4: Leanin ja VDC:n käyttöönoton osa-alueet. (Muokattu lähteestä Alarcón et al. 2013)

LPDS eli Lean Project Delivery System on Lean Construction Institute:n kehittämä Lean-projektien läpiviemiseen tarkoitettu malli, josta voidaan nähdä viisi toisiinsa yhdistyvää vaihetta Kuva 5: LPDS järjestelmä. mukaan. (Khanzode et al. 2006) Nämä vaiheet ovat

- projektin määrittäminen,
- Lean suunnittelu,
- Lean toimitus,

- Lean kokoonpano ja
- käyttö.

Kuva 5: LPDS järjestelmä. Nähdään, että jokainen vaihe on liitetty seuraavaan vaiheeseen yhdellä yhteisellä moduulilla. Kuvassa alempana tuotannon ohjaaminen ja työn jäsentely ymmärretään moduuleina, jotka jatkuvat koko rakennusprojektin alusta rakennuksen käytöstä poistamiseen asti. Lisäksi Lean-projektissa on tärkeää hyödyntää opittua tietoa, jota on kerätty edellisistä hankkeista niin sanotun oppimissilmukan kautta. (Khanzode et al. 2006)



Kuva 5: LPDS järjestelmä. (Muokattu lähteestä Khanzode et al. 2006)

Rakennushankkeissa yhtenä hukan juurisyynä on saavuttamattomissa oleva, riittämätön tai kadoksissa oleva tieto. Tiedon etsimiseen ja sen tulkitsemiseen menee paljon aikaa, koska tieto on hajautettuna useaan dokumenttiin. Lisäksi tieto saattaa olla myös ristiriitaisista dokumenttien välillä. Visuaalisella johtamisella mahdollistetaan tiedon helpompi ymmärrettävyys ja tietomallipohjaisilla toimintamalleilla saadaan tieto helpommin saataville ja sen virtaus yhtenäisemmäksi. (Laine et al. 2014)

2.3 POP-malli

POP-malli on työkalu, jota käytetään erityisesti saavuttamaan LPDS:n tavoitteita. (Khanzode et al. 2006) Product-Organization-Process-mallin, eli POP-mallin mukaan hankkeen projektijohtaja pystyy vaikuttamaan kolmeen asiaan: *tuotteeseen*, joka rakennetaan, *organisaatioon*, joka hoitaa suunnittelun ja rakentamisen sekä *prosessiin*, jota organisaatio noudattaa. POP-mallin on tarkoitus yhtenäistää rakennushankkeen käsitteistöä

ja koneluettavuutta sekä antaa konkreettisia käsitteitä tuotteen, organisaation ja prosessin osille. POP-malli sisältää organisaatioyksiköitä sekä prosessiyksiköitä, joilla tuote tai tuotteen osa pystytään toteuttamaan. POP-mallin mukaista A-tason mallia on esitelty Kuva 6: POP-mallin mukainen analyysimatriisi. Kuvassa on esitetty A-tason POP-malli.. Yksiköillä voi edelleen olla useita attribuutteja. (Kunz & Fischer 2012)

POP-mallien avulla pystytään analysoimaan esimerkiksi rakennuksen tietynlaisen rakenteen rakennettavuutta tuotteen, organisaation ja prosessin näkökulmasta. Lisäksi kaikista näkökulmista voidaan käydä läpi edelleen toiminto, muoto ja käyttäytyminen. Näistä voidaan muodostaa matriisi, johon kirjataan analysoitavan kohteen tiedot. Toimintoa, muotoa ja käyttäytymistä pystytään iteroimaan matriisissa lisäämällä kyseisen rivin alle uusi rivi, josta taas huomataan, kuinka eri osa-alueiden asiat vaikuttavat kokonaisuuteen. (Khanzode et al. 2006)

| Function | | | | Form/Scope | Behavior | | |
|---|---|--------------|------------------------|------------------------------------|-----------|----------|----------|
| Project Element | Attribute | Relationship | Objective | Choice | Predicted | Observed | Assessed |
| Product | | | | | | | |
| Product | Scope | Relationship | Functional Requirement | Product Scope (Space, System) | | | |
| Product | Building Spaces | include | Offices | Offices | | | |
| Product | Building Spaces | include | conference rooms | conference rooms | | | |
| Product | Objectives | | | | | | |
| Product | Conformance to product objectives | >= | 99 | | - | | 2 |
| Product | Rentable area (ft2) | range | 300 - 400 | | ?p | | 2 |
| Product | Cost (K\$) | = | 60 | | ?p | | 1 |
| Product | Energy (KBTU/sq-ft/year) | <= | 40 | | ?p | | -1 |
| Organization | | | | | | | |
| Organization | Scope | Relationship | Functional Requirement | Organization Form (Actor) | | | |
| Organization | Actors | include | Architect | Architect | | | |
| Organization | Objectives | | | | | | |
| Organization | Conformance (Actor assignment to Organization Function) (%) | = | 100 | | - | ?o | 2 |
| Organization | Cost (K\$) | = | 40 | | ?p | ?o | 1 |
| Organization | Actor Backlog | = | 3 | | ?p | ?o | 0 |
| Process | | | | | | | |
| Process | Scope (Task Action: Object) | Actor | Responsible Actor | Process Form (Task Action: Object) | | | |
| Process | Approve: design | Actor | Architect | Approve: design | | | |
| Process | Assess: Behaviors | Actor | Owner | Assess: Behaviors | | | |
| Process | Objectives | | | | | | |
| Process | Safety: lost work incidents | = | 0 | | - | ?o | 2 |
| Process | Peak Quality Risk | < | 0.25 | | ?p | ?o | -1 |
| Project | Evaluated goodness | | | | | Sum: | 8 |
| Legend A-level model elements specification missing or needs to be assigned Predicted value that meets functional requirement Assessed value ?o variable whose value is not yet observed ?p variable whose value is not yet predicted ?a variable whose value is not yet assessed | | | | | | | |

Kuva 6: POP-mallin mukainen analyysimatriisi. Kuvassa on esitetty A-tason POP-malli. (Kunz & Fischer 2012)

2.4 Integrated Project Delivery

Integrated Project Delivery (IPD) on erityisesti Yhdysvalloissa käytössä oleva urakka-muoto, jota voidaan verrata muihin allianssi-urakkamuotoihin. Integrated Project Delivery voidaan suomentaa vapaasti yhtenäiseksi hankkeen läpiviemiseksi. IPD ja muut innovatiivisen työskentelyn mahdollistavat rakennushankkeen urakkamuodot ovat yleensä olleet hyviä siksi, että ne mahdollistavat paremman suunnittelun ja etenkin paremman ja aikaisemman tuotannon suunnittelun. (Kent et al. 2010) IPD-mallisissa hankkeissa jopa aliurakoitsijoiden on mahdollista olla aikaisemmin mukana hankkeessa, jonka lisäksi tuotannon suunnittelussa mahdollistetaan yhteistyö aikaisemmin muidenkin sidosryhmien kanssa. (Laine et al. 2014)

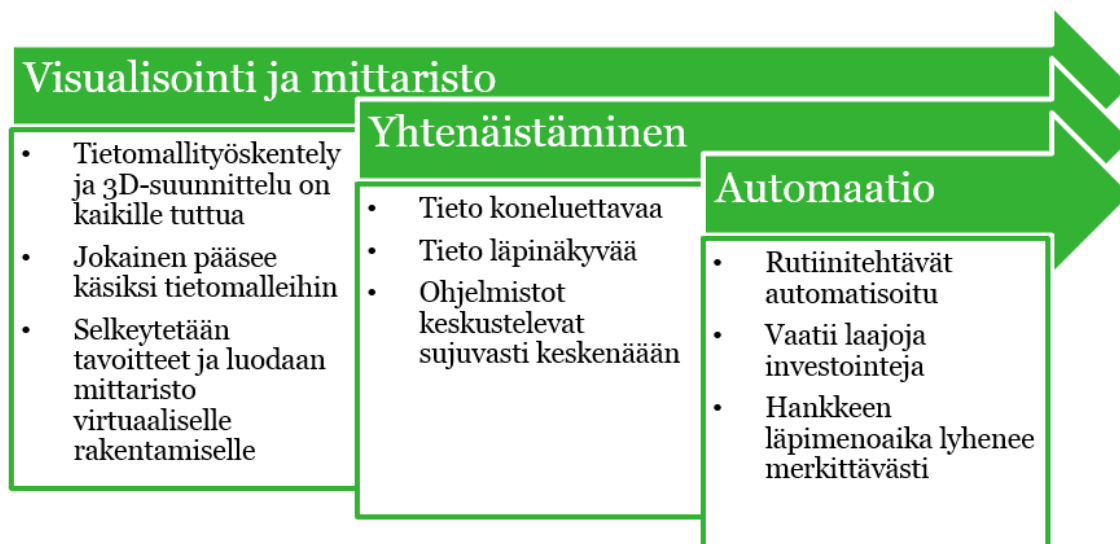
Tietomallit ovat tärkeä osa virtuaalista rakentamista ja IPD mahdollistaa paremmin niiden käytön rakennushankkeessa. Lisäksi IPD:n piirteisiin kuuluu rakennushankkeessa kaikkien hankkeen osapuolien kesken jaetut riskit ja palkkiot. IPD hankkeissa on yleensä vähemmän lisä- ja muutostöitä, enemmän kustannussäästöjä ja lyhyempi läpimenoaika. (Kent et al. 2010)

2.5 Virtuaalinen rakentaminen otetaan käyttöön vaiheittain

VDC:n käyttöön tulisi asettaa selkeitä tavoitteita, joille määrätään vastuhenkilö ja joita seurataan hankekohtaisesti yrityksessä. Kehitysosasto on vastuussa VDC:n visiosta, strategiasta ja operatiivisesta suunnittelusta. Tavoitteilla täytyy olla yritykselle arvoa tuottava vaikutus. Tavoitteita asetettaessa tulee kuitenkin ottaa huomioon loppukäyttäjät ja etenkin virtuaalisen rakentamisen tuotteiden käyttäjät. Tavoitteiden läpinäkyvyys ja tarkkuus ovat tärkeitä asioita, mutta tavoitteiden tulee olla lisäksi realistisia. Tavoitteita varten varataan tarvittavat resurssit ja niiden käyttöä johdetaan. (Kunz & Fischer 2012) Stanfordin yliopiston virtuaalisen rakentamisen tutkimuskeskus CIFE on koonnut artikkelissaan (Kunz & Fischer 2012), mitä tavoitteita VDC:lle voidaan asettaa, ja miten niitä voidaan seurata. VDC:n käyttöönotossa voidaan havaita seuraavat kolme erilaista vaihetta:

1. **Visualisointi ja mittaristo:** Suunnittelijat tuottavat 3D-mallit rakennuksesta perustuen lähtötietoihin. Jotta visualisointi olisi mahdollista, tulisi eri toimijoiden organisaatioilla olla mahdollisuus visuaaliseen 3D-työskentelyyn. Lisäksi sopimusten tulee tukea osapuolien välistä vapaata tiedonsiirtoa. Hyvä visualisointi mahdollistaa useampien rakennushankkeessa toimivien tahojen osallistumisen suunnitteluun sekä paremman tiedon jakamisen ja ymmärtämisen. Visualisointivaiheessa
 - a. mallinnetaan eniten kustannuksia tuottavat rakennusosat.
 - b. varmistetaan eri toimijoiden mahdollisuus käyttää VDC-malleja.
 - c. perustellaan tarve VDC-työkaluja, toimintatapoja ja resursseja varten tarvittaville investoinneille, joiden suuruutta tulee verrata hankkeen arvontuottoon.

- d. selkeytetään hankkeen tavoitteet, arvot, vastuut ja suunnittelu.
2. **Yhtenäistäminen:** Tässä vaiheessa rakennushankkeen tieto tulee olla tietokoneen ymmärtämässä muodossa, jotta suunnittelutietoa voidaan vaihtaa ohjelmistojen välillä luotettavasti. Lisäksi tulee määritellä yhteiset tiedostonsiirtomuodot ja tiedon käyttötapaukset, jotta yhtenäinen tiedon käyttötapa eri toimijoiden välillä on mahdollista. Vaiheen käyttöönotto voi olla kallista ja useiden hankkeiden ja toimijoiden tulee käyttää samoja toimintatapoja, jotta vaiheesta on tarpeeksi hyötyä. Yhtenäistämisvaiheessa tulee
- jakaa tietoa tarkoituksenmukaisesti tietomallien sekä muiden ohjelmistojen kesken käyttäen luotettavaa ja koneluettavaa tietoa.
 - harkita vaiheeseen liittyvän investoinnin mielekkyyttä. Investointipäätöksellä tulee saada yhtenäistämisvaihe tehokkaasti käyttöön.
 - käyttää esim. IFC-formaattia, koska se tukee yhteistä toimintatapaa.
 - suosia ohjelmistoja, jotka keskustelevat keskenään sujuvasti.
3. **Automaatio:** Tämän vaiheen hankkeissa rutiininomaiset työtehtävät ovat automatisoitu. Jotta automaatio on suunnitteluvaiheessa mahdollista, tulee hankintamalleja uudistaa. Automaatio vaatii yhtenäistämistä ja visuaalista työskentelytapaa. Automaatiovaiheessa hankkeissa
- tuetaan automaattista suunnittelua ja valmisosien käyttämistä.
 - tulee investoida riittävästi automaatioon yrityksen strategia ja arvontuotto huomioiden. Vaihe voi olla hyvin kallis toteuttaa.
 - suunnittelun tehokkuus ja vaikuttavuus lisääntyvät.
 - hankkeen läpimenoaika lyhenee merkittävästi.



Kuva 7: Virtuaalisen rakentamisen käyttöönotto CIFE:n kehittämän ohjeistuksen mukaisesti. Kuva on ohjeistuksen perusteella tehty karkea kuvaus ja tarkempaan ohjeeseen tulee tutustua tarkemmin suoraan lähteestä. (Kunz & Fischer 2012)

2.6 Virtuaalisen rakentamisen käyttöönoton haasteet

Rakennusalan liiketoimintamallien ja ansaintamallien tulee muuttua, jotta uudet toimintatavat saadaan tehokkaasti käyttöön. Nykyiset hankintamallit perustuvat pelkästään hankkeen yksittäisten osapuolien oman työn optimointiin ja kustannusten minimointiin. Toimintamallit eivät tue teknologioiden, ihmisten ja prosessien tuomista rakennusprojektiin mukaan. Virtuaalisen rakentamisen ja läpinäkyvän tiedon yhteydessä suhteellisen uudet IPD- ja allianssi-hankemallit ovat tuotu esille. Kuitenkin yksi tärkeimmistä asioista virtuaalisen rakentamisen käyttöönotossa on uusien sekä nykyisten toimintamallien kautta saadun informaation läpinäkyvyys ja yhtenäisyys virtuaalisen ympäristön ja tiedon käyttämisen kannalta. (Laine et al. 2014)

Vielä nykyään paljon käytetyt paperidokumentit eivät tue eri toimialojen tehokasta yhteistyötä ja yksinkertaisten ja pienten muutosten tekeminen suunnitelmiin voi viedä yleensä jopa päiviä aikaa. Joidenkin rakennushankkeeseen osallistuvien toimijoiden on hankala ymmärtää paperidokumenteissa esiintyvää teknistä informaatiota tai sen ymmärtäminen vie paljon aikaa. (Kunz & Fischer 2012) Lisäksi virtuaalisen rakentamisen ja digitalisaation esteenä ovat myös muun muassa VDC:n suuntaviivojen huono täytäntöönpano, kulttuurista johtuvat esteet, rajapintojen ongelmat, ohjelmistojen ongelmat, laitteistojen ongelmat, tietotaidon puute ja sitoutumisen puute. Asiakas ei välttämättä näe virtuaalista rakentamista tarpeellisenä tai ei ymmärrä sen hyötyjä. (Alarcón et al. 2013)

2.7 Yhteistyön merkitys korostuu

Rakennushankkeen alkuvaiheessa tulisi kutsua koolle kaikki olennaiset sidosryhmät hankkeen aloituskokoukseen. Tapaamisessa käydään läpi kaikki tietomallit, visualisoinnit ja muut tuotokset, joita sidosryhmät tarvitsevat hankkeen edetessä. Tuotokset tulee olla myös oikeaan aikaan tuotoksien käyttäjillä, jotta esimerkiksi suunnitteluratkaisuihin pystytään vielä vaikuttamaan hyvissä ajoin. (Kunz & Fischer 2012)

Myös muut kokoukset ja viikoittaiset tapaamiset tulee pitää huoneessa, josta löytyy suunnitelmien digitaaliseen esittämiseen tarvittavat työkalut, kuten tietokoneet, näytöt ja projektorit. Kokousten sisältö tulisi suunnitella siten, että keskustelu on kuvailevaa ja analysoivaa. Lisäksi POP-mallin mukaisesti rakennettavan tuotteen, organisaation ja prosessin asiat pitäisivät tulla esille selkeästi. (Kunz & Fischer 2012) Yhteistyötoimintaan on sovellettavissa Big Room –työskentelymalli ja kokousten asiasisällön evaluointiin niin sanottu DEEPAND-menetelmä. (Khanzode et al. 2006)

Big Room -työskentelyn avulla parannetaan koko rakennushankkeen aikana tapahtuvaa suunnittelutyötä viemällä ratkaisuja kohti asiakkaan ja loppukäyttäjän tarpeita. Big Room -työskentelyn avulla varmistetaan myös ketterä suunnitelmien mukautuminen loppukäyttäjän hankkeen edetessä muuttuneisiin tarpeisiin nähden. (Alhava et al. 2015) Tila Big Room -työskentelyä varten tulee valmistella ja varustaa tarvittavilla työkaluilla ja muilla

mahdollisuuksilla, jotka tehostavat yhteistyötä. Kaikkien rakennushankkeen osapuolia yhdistävä Big Room -toiminta vähentää suunnitteluun käytettävää aikaa ja vähentää tällöin hukkaa. (Khanzode et al. 2008) Juntunen (2015) on koonnut Big Room -työskentelystä ja sen yksityiskohdista kattavan diplomityön, jota voidaan käyttää Big Room -työskentelyä sovellettaessa.

DEEPAND on lyhenne sanoista Describe, Explain, Evaluate, Predict, formulate Alternative, Negotiate ja Decide. Sanat voidaan suomentaa järjestyksessä sanoiksi kuvaile, selitä, arvioi, ennusta, muodosta vaihtoehto, neuvottele ja päätä. Nämä toiminnot ovat keskustelujen arviointiin käytettäviä toimintoja, joita puhuja saattaa käyttää kokouksessa. Tehokkaassa kokouksessa kaikki toiminnot täyttävät niiden määritelmän mahdollisimman vähässä ajassa. Toimintojen täyttymistä tulee arvioida tapaamisen aikana ja lopulta laskea kokouksen tehokkuus tilaisuuden jälkeen. (Garcia & Fischer 2003) CIFE:n teknisessä raportissa Garcia & Fischer (2003) kuvaavat kyseisen tapaamisten evaluoimiseen tarkoitettua menetelmän tarkemmin.

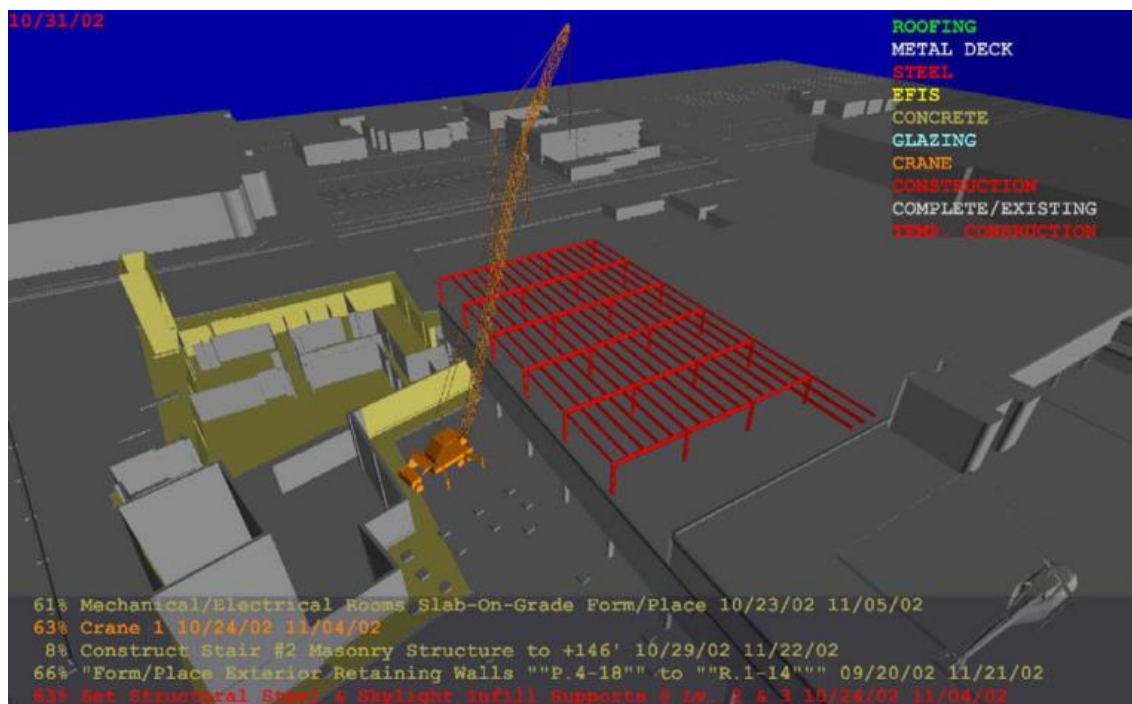
3. TUOTANNON MALLINNUS

3.1 4D-mallit rakentamisen valmistelussa

4D-mallit ja niiden informaation pohjalta tehdyt animaatiot ovat 3D-malleja, joihin on liitetty aikataulutietoa. Aikataulupohjaiset animaatiot ovat tehokas tapa viestiä aikataulua ja rakennettavuutta eri rakennushankkeen osapuolille. 2D kuvien ja janakaavioiden teko on vielä yleistä, mutta ne eivät anna tarpeeksi selkeää ja nopeaa kuvaa suunnitelmista sekä ovat joskus hankalia ymmärtää jopa rakennusalan ammattilaisten toimesta. (Kunz & Fischer 2012) Aikataulutietoa voidaan tarvittaessa katsella esim. päivä-, viikko- tai kuukausikohtaisesti 4D-mallista. (Fischer & John 2004) 4D-malleja ja animaatioita voidaan käyttää optimoimaan rakennuksen aikataulutusta eri toimijoiden kesken. 4D-malleista tehdyistä animaatioista näkee selkeästi rakennushankkeessa vallitsevat ajalliset rajoitukset ja aika-paikka riippuvuudet, jotta eri aliurakoitsijoiden töitä voidaan sovittaa yhteen paremmin. (Kunz & Fischer 2012)

4D-malleja on tuotettu jo varhaisessakin vaiheessa hanketta, kuten useampia rakennuksia sisältävässä rakennushankkeessa. Kyseisenlaisissa hankkeissa tulee ottaa huomioon sekä ympäröivien valmiiden rakennusten, että rakenteilla olevien rakennusten vaikutus rakentamisvaiheeseen. Myös hyvin pienen rakennusalueen ja rajoittuneiden logististen yhteyksien omaavassa rakennushankkeessa 4D:stä on ollut hyötyä, jotta ymmärretään työmaalueen rajoitteet jo suunnitteluvaiheessa. Rakennusvaiheessa 4D:tä on käytetty mm. rakennustöiden ja aliurakoitsijoiden johtamiseen ja ohjaamiseen, jotta rakentamisen tehokkuus paranee. (Fischer & John 2004) Rakennusvaiheen resurssit voidaan kuvata 4D mallissa fyysisinä yksiköinä ja niiden käyttäytymistä rakennustyömaalla voidaan analysoida ajallisesti ja sijaintipohjaisesti. (Popov et al. 2010)

4D-mallit antavat asiakkaalle paremman kuvan rakennusvaiheen työn kulusta varsinkin, jos asiakkaalla on samaan aikaan operatiivisia toimintoja esimerkiksi korjausrakentamishankkeen aikana samassa, tai viereisessä rakennuksessa. Asiakas pystyy tällöin ottamaan asiat paremmin huomioon oman toimintansa ja myös työmaan toiminnan kannalta. (Fischer & John 2004) On kehitetty myös 5D-malleja, jotka ajan lisäksi käsittelevät myös kustannuksia ajan kuluessa 4D-mallia hyödyntäen. Hankkeen taloudellisia vaikutuksia voidaan tällöin tarkastella tietyinä ajanjaksona sekä analysoida ja ennustaa tarkemmin kustannusten jakautuminen rakennushankkeelle ajallisesti. (Popov et al. 2010)

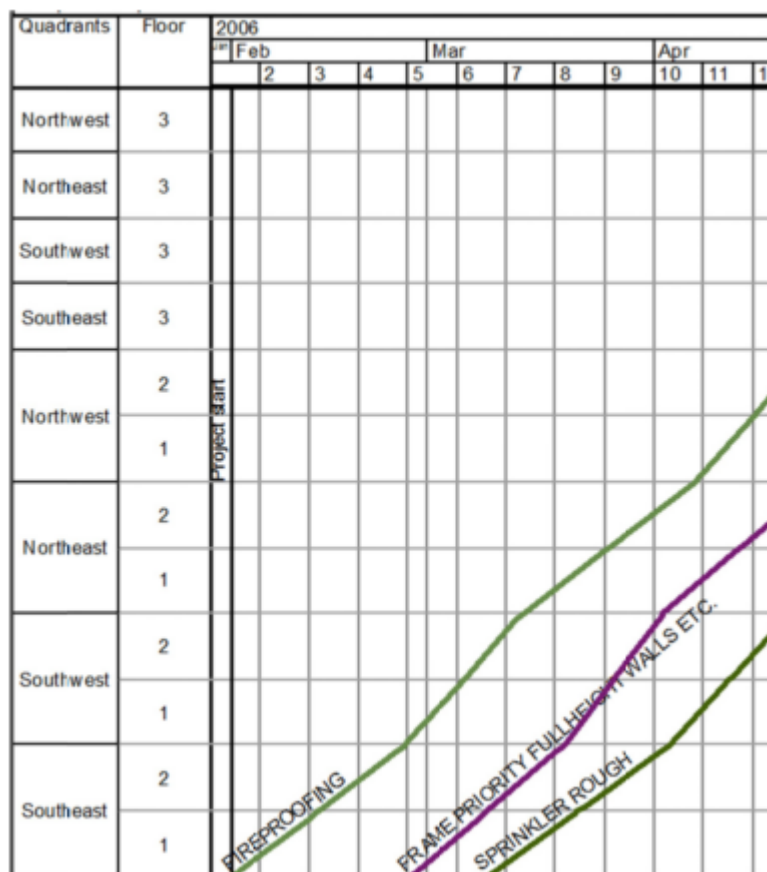


Kuva 8: Kuvakaappaus Yhdysvalloissa sijaitsevan sairaalan rakennushankkeen 4D simulaatiosta. Rakennustöissä käytettävä nosturi vaikutti sairaalan toiseen rakennukseen lentävän helikopterin lentorataan. Asia saatiin esille ajoissa havainnollisen 4D aikataulun teon ansiosta (Fischer & John 2004)

3.2 Kriittisen polun menetelmä ja sijaintipohjainen aikataulu

Kriittisen polun menetelmä (CPM) on ollut erittäin suosittu aikataulujen tekoon sovellettu menetelmä rakennusosalalla ja sitä käytetään nykyäänkin. Menetelmällä on pitkä historia ja sitä on käytetty jo yli 50 vuotta. Menetelmää on kehitetty, koska sen on todistettu vähentävän rakennusaikaa merkittävästi muihin menetelmiin verrattuna. CPM:n huonona puolelana on kuitenkin sen vahva tehtäväpohjaisuus. Menetelmä ei ota huomioon saman tehtävän paikkariippuvuutta. Tämä johtaa pahimmillaan aikataulujen ja tavoitteiden hylkäämiseen sekä lopulta aikataulun myöhästymiseen. Tarkempi rakentamisen aikataulutus suunnitellaan tällöin lennosta, josta aiheutuu rakennusvirheitä ja ne myös toistuvat. (Kenley & Seppänen 2006)

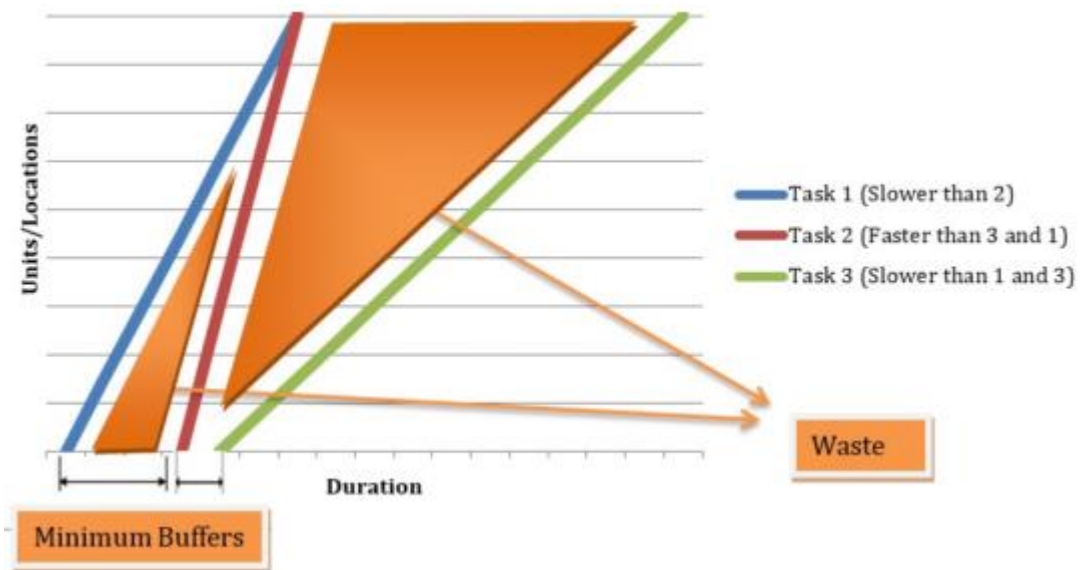
Menetelmää on laajennettu sijaintiin perustuvalla aikataulunhallinnalla (LBMS), joka on nopeasti suosiotaan kasvattava menetelmä. Menetelmä on nimensä mukaisesti sijaintilähtöinen. Lisäksi menetelmä ottaa paremmin huomioon sen, että rakennustöitä tehdään tietynlaisilla työryhmillä, jotka liikkuvat sijainnista toiseen. Kriittiseen polkuun keskittymisen lisäksi otetaan tällöin myös paremmin huomioon tuotantoajan tehokkuuden parantaminen. (Kenley & Seppänen 2006)



Kuva 9: Ote sijaintipohjaisesta paikka-aikakaaviosta, jossa sijainnit ovat jaettu lohkoihin ja kerroksiin. (Seppänen 2014)

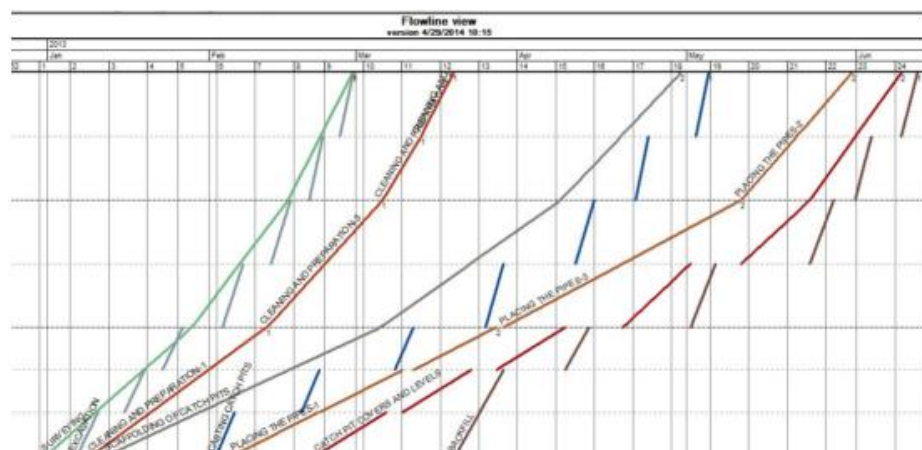
3.3 Tahtiaikataululla vähennetään hukkaa

Yksi Lean-rakentamisen tavoite on saada aikaan työn sujuva virtaus. Tämän saavuttamiseksi muodostetaan tuotantoaikataulu niin sanottujen tahtien mukaan. Tahtiaikataulun päämääränä on parantaa työn sujuvaa kulkua ja näin vähentää hukkaa. Tahtiaikataulun taustalla vaikuttavat Lean-filosofian lisäksi CPM ja LBMS sekä visuaaliset aikataulujen esittämismuodot, kuten vinoviiva-aikataulu. Tahtiaikataulun teolla pyritään tasaamaan eri työtehtävät etenemään samalla vauhdilla. Lisäksi resurssien käyttö pyritään saamaan jatkuvaksi. Visuaalinen sijaintipohjainen aikataulusuunnittelu auttaa havaitsemaa riippuvuudet ja ajallisen hukan, kuten Kuva 10: Aikataulua ei ole tasapainotettu, joten ajallista hukkaa aiheutuu työalueen tyhjillään olost. (Yassine et al. 2014) voidaan nähdä. (Yassine et al. 2014)

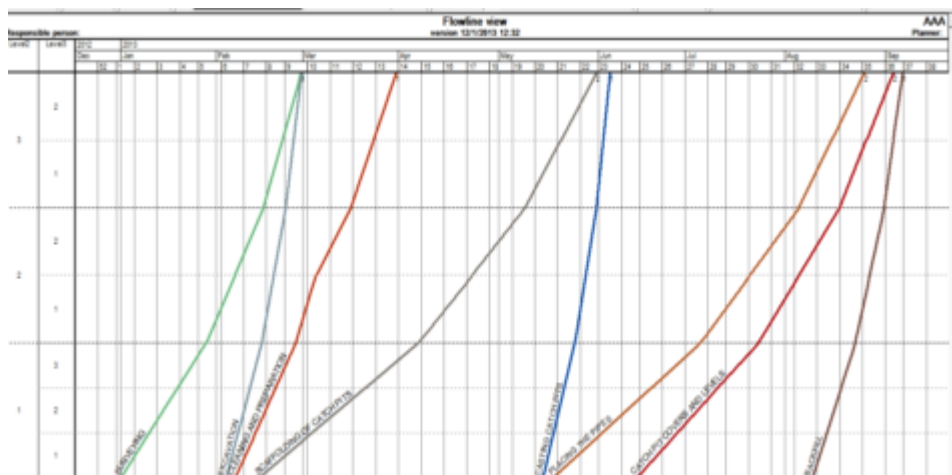


Kuva 10: Aikataulua ei ole tasapainotettu, joten ajallista hukkaa aiheutuu työalueen tyhjillään olosta. (Yassine et al. 2014)

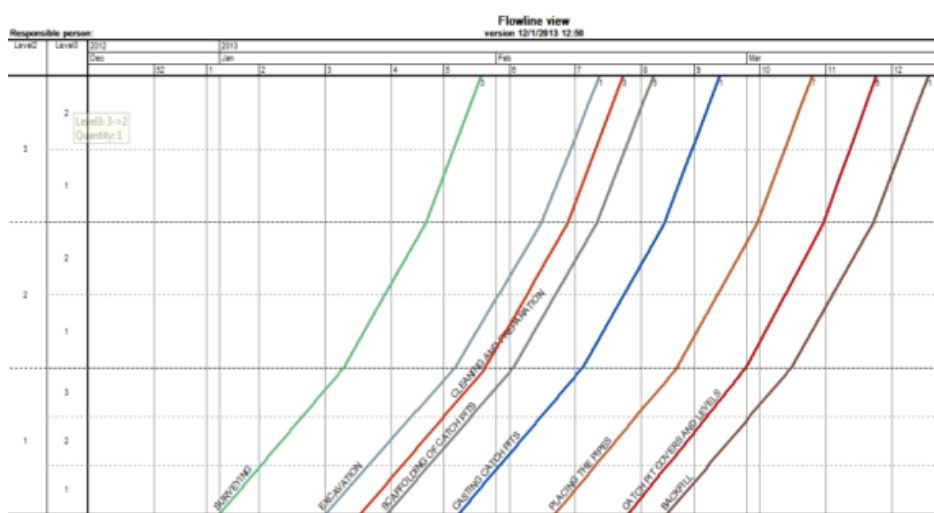
Ilman tahtiaikataulun hyödyntämistä työtehtävät voivat olla jatkuvia, mutta ovat tällöin yleensä liian hitaita tai nopeita. Toisaalta työtehtävät voivat noudattaa muiden työtehtävien kestoja, mutta ovat tällöin epäjatkuvia. Tahtiaikataululla voidaan saavuttaa sekä jatkuvuus, että resurssien tasainen jakautuminen. Samalla pystytään yleensä myös vähentämään merkittävästi kokonaisrakennusaikaa ja tämän seurauksena työmaasta aiheutuvia kuluja. (Yassine et al. 2014)



Kuva 11: Aika-paikkakaavio ilman jatkuvuutta. (Yassine et al. 2014)



Kuva 12: Aika-paikkakaavio jatkuvilla työtehtävillä ilman tasapainotusta. (Yassine et al. 2014)

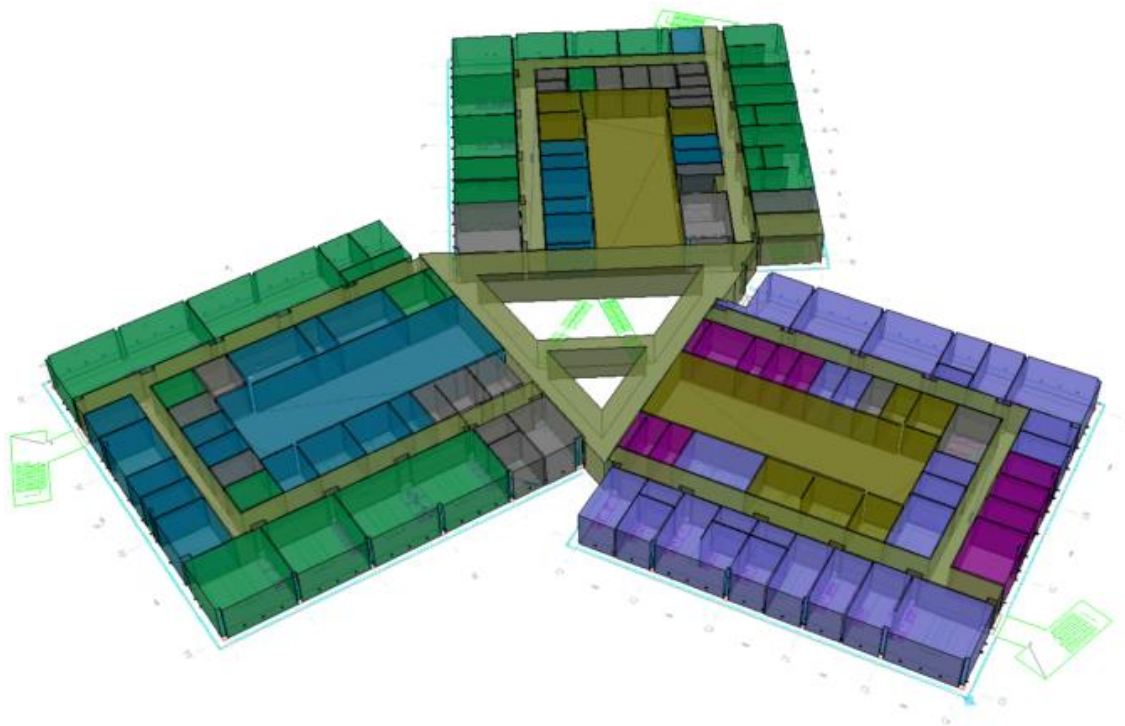


Kuva 13: Tasapainotettu tahtiaikataulu jatkuvilla työtehtävillä. (Yassine et al. 2014)

3.4 Visuaalisuuden hyödyt

Perinteisessä suunnittelussa arvailulle jää paljon varaa ja informaatiota yksinkertaistetaan liikaa. Uusien visuaalisten työkalujen käyttöönotto parantaa työn tuottavuutta ja vähentää hukkaa. (Rischmoller et al. 2006) Visuaaliset esitystavat auttavat asiakasta ja muita rakennushankkeen sidosryhmiä ymmärtämään paremmin suunnitelmia ja niihin liittyviä asioita, kuten aikataulua. Suunnitelmien informaatio saavuttaa enemmän osallisia visuaalisuuden ansiosta. Visuaalisten työkalujen käytön myötä arvon tuotto asiakkaalle lisääntyy. (Rischmoller et al. 2006) Visuaalinen suunnitelmien esitystapa auttaa myös hankkeessa mukana olevien eri kieltä puhuvien jäsenten työskentelyä, koska suunnitelmien ymmärtämiseen liittyy vähemmän kielen ymmärtämiseen sidonnaista tulkinnanvaraa. (Kunz & Fischer 2012)

Rakennuksen tietomalleja voidaan käyttää jo sellaisenaan tehokkaana visuaalisena havainnollistamisvälineenä. Rakennukselle asetettujen vaatimusten noudattaminen rakentamisessa ja sen suunnittelussa edellyttää kuitenkin ajantasaisen tietomallin saatavuutta. On myös huomattava, että tietomallin pohjalta tehtyjen dokumenttien tietosisällön on perustuttava aina viimeisimpään tietomalliin. (Henttinen & Vara 2012)



Kuva 14: Kolmiulotteinen kerrostason tilamalli, jossa eri toimintoja on havainnollistettu väreillä. (Henttinen & Vara 2012)

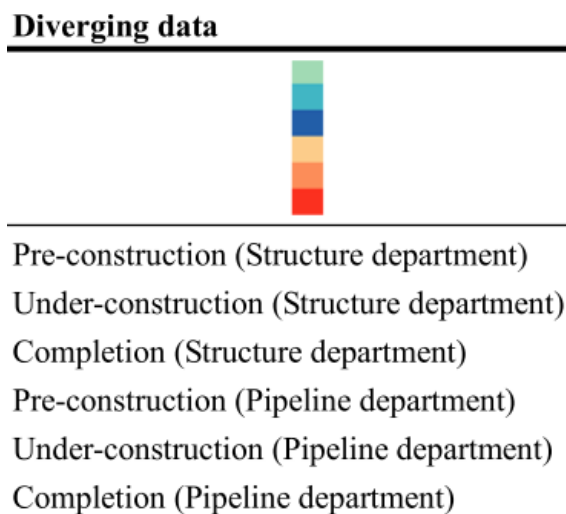
4D-mallien avustuksella tehtävä visuaalinen suunnittelu mahdollistaa työvaiheiden työnkulun tarkastamisen. Samalla saadaan visuaalista apua työvaiheen varsinaiseen suorittamiseen liittyen. Tiedon esittämistapaa voidaan havainnollistaa animaatioilla, joilla saadaan havainnollisessa ja ymmärrettävässä muodossa välitettyä tarpeellista tietoa urakoitsijalle. Vaikka visuaalisten työkalujen käyttö ja visualisointien tekeminen voi viedä enemmän aikaa, on resurssien kohdentaminen visuaaliseen suunnitteluun parempi vaihtoehto, kuin resurssien ja materiaalin tuhlaaminen työmaalla rakentamisvaiheessa. (Rischmoller et al. 2006)

3.5 Vakioitu värijärjestelmä havainnollistaa nopeasti tietoa

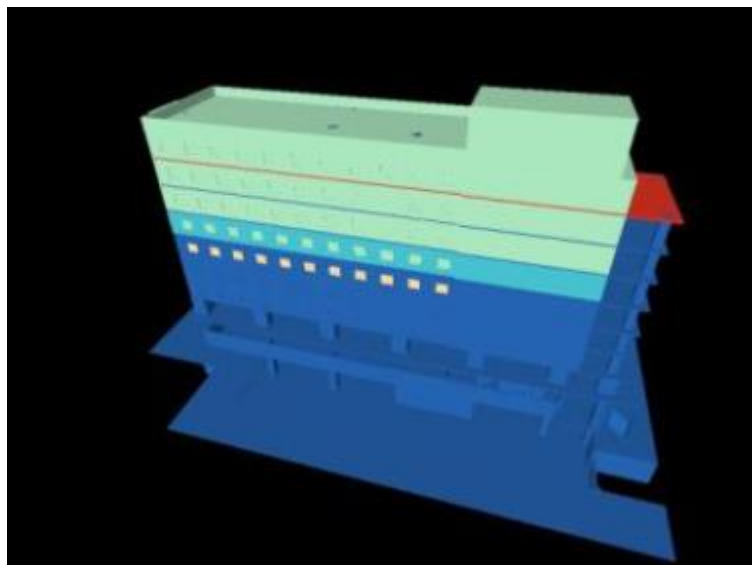
Jotta 4D-visualisointi ja aikataulun animaatio olisivat suunnitelmien värimaailman kannalta havainnollisia, tulee käyttää toisistaan erottuvia ja tarkoitukseen sopivia värejä kuvaamaan kunkin rakennusosan tilannetietoa. (Ma et al. 2005) Värit voivat vaihtua ajan mukaan esimerkiksi siten, että tekeillä oleva rakennusosa näkyy sinisellä ja asennetut osat virheällä. Aikataulusta myöhässä olevat osat voivat olla esimerkiksi punaisella värillä.

Vakioitu värijärjestelmä auttaa hankkeen kaikkia osapuolia tunnistamaan nopeasti suunnitelmista oleelliset asiat. (Chen et al. 2013)

Värijärjestelmä käsittää tietynlaiset yhdessä sovitut värit, joita käytetään suunnitelmissa korostamaan haluttuja asioita. Värijärjestelmän käytettävyyteen vaikuttaa yleensä visualisoinnin taustalla oleva tieto, laitteisto, katsoja ja 3D-renderöinnin asetukset. Värijärjestelmän valinnassa tulisi ottaa huomioon tiedon laatu ja haluttavan esityksen tarkoitus. Tutkimuspaperissaan Chen et al. (2013) on koonnut 4D-aikataulujen visualisointiin erilaisia väripalettivaihtoehtoja, joilla voidaan visualisoida rakennuksen osien valmiusastetta.



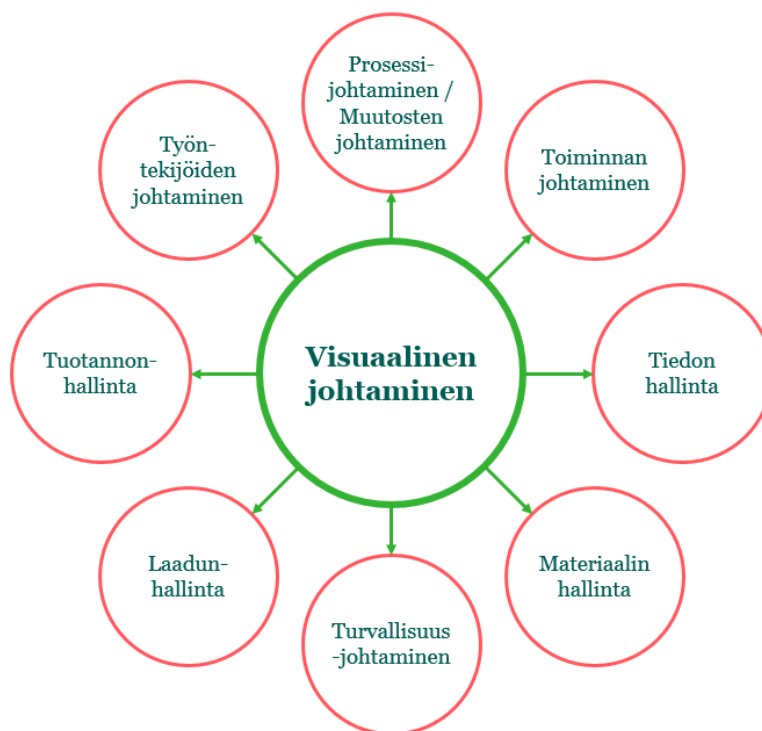
Kuva 15: Eräs värijärjestelmä 4D-aikataulun visualisointia varten, jossa kahden eri suunnittelualan rakennusosia kuvataan eri väreillä, ja valmiusastetta kunkin värin eri sävyillä. (Chen et al. 2013)



Kuva 16: Valitun värijärjestelmän värejä on hyödynnetty visualisoimaan 3D-mallin rakennusosan valmiusastetta tietyllä ajan hetkellä. (Chen et al. 2013)

3.6 Visuaalinen johtaminen

Visuaalinen johtaminen ohjaa tietoa tarvitsevia henkilöitä löytämään tiedon tai muun tarvitsemansa asian nopeasti ja itsenäisesti visuaalisten keinojen avulla. Visuaalinen johtaminen vähentää tarpeetonta tietoa varten tehtyä toimintaa, eli hukkaa, kuten laskemista, kysymistä, arvailua tai etsimistä. (Tezel et al. 2011) Visuaalista johtamista on käytetty rakennustyömaalla fyysisten paikkojen merkitsemiseen ja opasteiden tekoon, mutta sitä voidaan soveltaa moneen muuhunkin toimintaan. Kuva 17: Visuaalinen johtaminen ja rakentamisen osa-alueet, joissa visuaalista johtamista voidaan hyödyntää. (muokattu lähteestä Tezel et al. 2010) on esitelty visuaalisen johtamisen soveltamisen osa-alueita rakentamisessa. Visuaalisilla ohjeilla on saatu esimerkiksi työmaa pysymään paremmin järjestyksessä ja siistinä. Visuaalisuudella pyritään myös tiedon läpinäkyvyyteen ja sen vapaaseen virtaukseen hankkeen osapuolien kesken, kuten myös virtuaalisessa rakentamisessa on tarkoituksena. (Tezel et al. 2010)



Kuva 17: Visuaalinen johtaminen ja rakentamisen osa-alueet, joissa visuaalista johtamista voidaan hyödyntää. (muokattu lähteestä Tezel et al. 2010)

Erilaista tietoa rakennustöitä varten on nykyään saatavilla rakennusten tietomalleista 2D-piirustusten lisäksi. Tieto on kuitenkin vielä osittain piilossa etenkin työmaan työntekijöiltä. Lisäksi tieto on yleensä hajautettu useampaan lähteeseen eikä se ole tarpeeksi tarkkaa tai oikeanlaisessa muodossa. Työmaan työntekijöille tulisi saada vain se tieto, mitä kukin työntekijä tarvitsee silloisessa työssään. Lisäksi työtehtävää varten tarvittu tieto tulisi myös esittää yksiselitteisessä ja ymmärrettävässä muodossa. Yksi visuaalisen johtamisen keino on värikoodaus. Tietomallista voidaan vaihtaa tiettyjen osien värit vastaamaan toisiaan, jos ne halutaan korostaa tiettyä tarkoitusta varten ja selittää, mitä mikäkin

Visuaalista johtamista ei vielä käytetä tai sitä ei ymmärretä rakentamisaikalla tarpeeksi hyvin, mikä voi rajoittaa sen käyttöä joissain tilanteissa. Tärkeää olisi kuitenkin opettaa ihmisiä työskentelemään visuaalisten työkalujen parissa. Työskentelykulttuurin muuttaminen voi viedä aikaa. Joissakin tapauksissa visuaalisen johtamisen hyödyntäminen riippuu rakennushankkeen ominaisuuksista, sopimusteknisistä asioista ja käytettävästä teknologiasta. (Tezel et al. 2010)

3.7 Huolellinen tuotannon suunnittelu

Kohdeyrityksessä on luonnosteltu malli niin sanotun huolellisen tuotannon suunnittelun logiikasta. (Liite 1) Malli selkeyttää tuotannon tärkeimpien suunnitelmien ja työkokonaisuuksien ja tuotosten suhteita keskenään. Mallista voidaan nähdä tuotosten keskeisiä riippuvuuksia ja myös, kuinka Big Room työskentely liittyy tuotannon mallintamiseen rakennusprosessin edetessä. Malli on kuitenkin vielä kehitysasteella ja sen kuvausta tulee tarkentaa ja selkeyttää entisestään.

Huolellisen tuotannon suunnittelun kulku on kuvattu kohdeyrityksessä lähtötietojen ja tuotoksien kautta myös tuotannon mallintajien näkökulmasta (Liite 2). Kaavio kertoo kohdeyrityksen tämänhetkisen tuotannon suunnittelun tuotokset ja niitä varten tarvittavat lähtötiedot muilta osapuolilta. Jokainen tuotos tai tuotokset valmistellaan lähtötietoihin pohjautuen tiettyyn palaveriin, jossa tehdään mahdolliset muutokset ja lopulta päätökset tuotokseen liittyen. Tuotannon mallintaminen on määritelty jo johdantoluvussa. Liitteen 2 mukainen kaavio on kohdeyrityksen itse kehittämä kuvaus tuotannon suunnittelun kulusta ja sen ominaisuuksia ja rakennetta tulee pohtia tämän tutkimustyön perusteella.

Nykyiset tuotannon mallintajan palvelutuotteet ovat (Fira 2015)

- Tuotantosuunnitteluvaiheen aikataulu
- Yleisaikataululuonnokset
- Alustava yleisaikataulu ja rungon visualisointi
- Hankinta-aikataulu
- Tarkennettu elementtiasennusaikataulu
- Suunnittelu-aikataulu
- Projektiaikataulu
- Lopullinen yleisaikataulu
- Kassavirtalaskelma.

Tuotannon suunnitteluun kuuluvat seuraavat kohdeyrityksen sisäiset tiimit:

- Hankekehitys / Myynti
- Tuotannon mallintaja
- Hankinta
- Suunnittelunohjaus

- Työpäällikkö
- TATE asiantuntija
- Kustannustietomallintaja
- Kustannusasiantuntija
- Vastaava mestari ja työmaainsinööri

3.8 4D-suunnittelun esimerkkejä

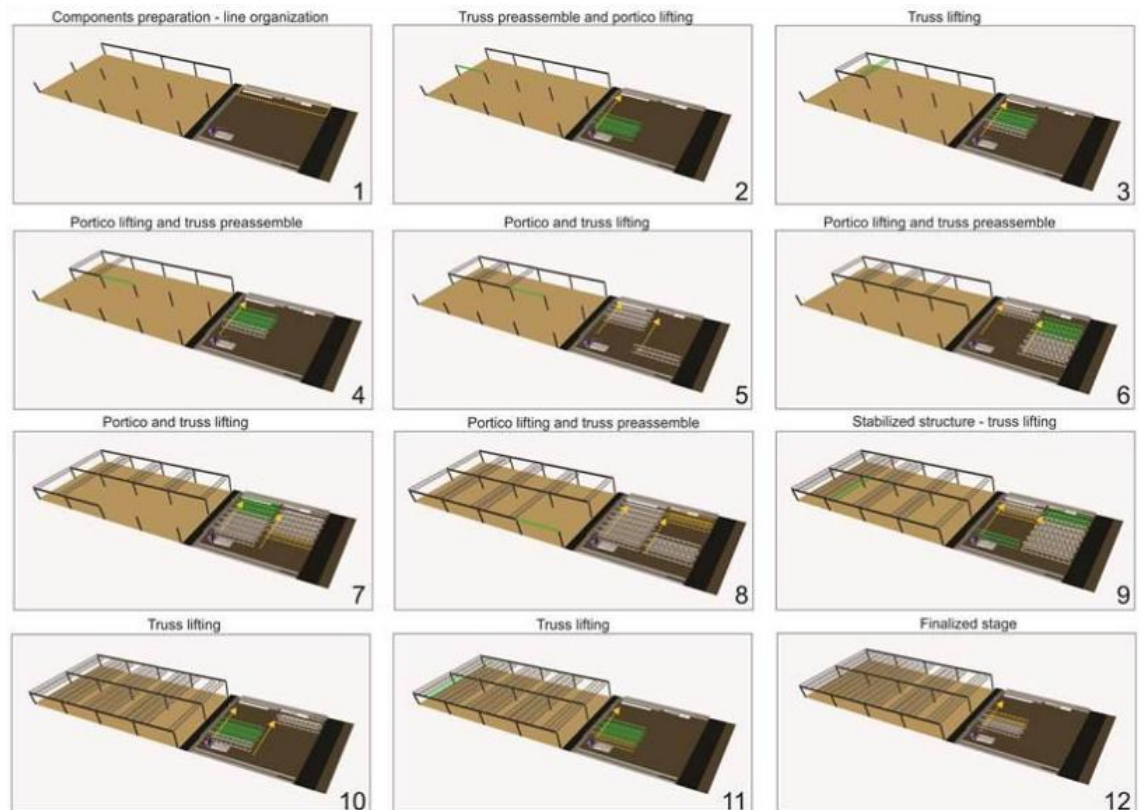
Seuraavat esimerkkikohteet ovat tutkimuspapereissa esiintyneitä rakennushankkeita. Kyseiset kohteet antavat käytännön esimerkkejä visuaalisten 4D-aikataulujen ja virtuaalisten keinojen käytöstä.

3.8.1 Esimerkki 1: 4D aikataulu ja logistiikka

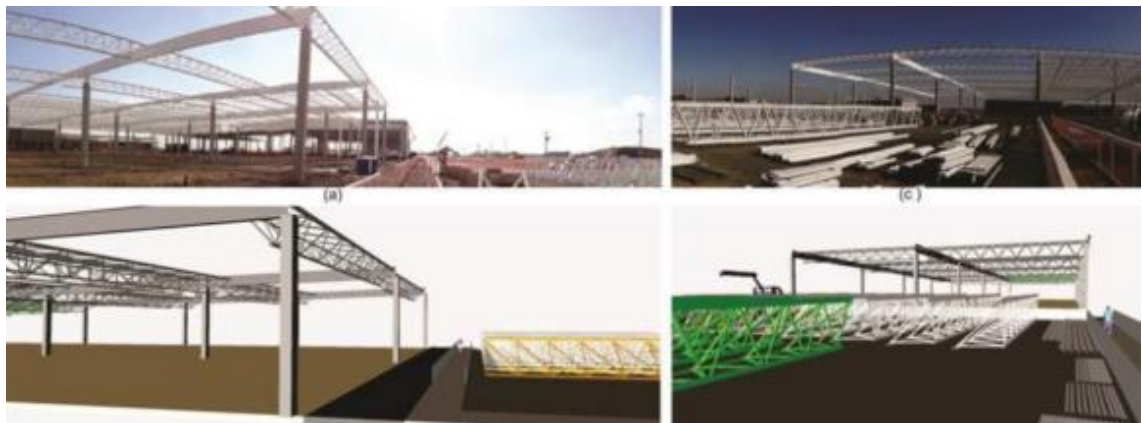
Rakennushankkeessa tehtiin logistinen suunnitelma, jossa käytettiin visuaalisen johtamisen keinoja. Rakennushankkeessa rakennettiin teräsrunkoinen tehdashalli autojen valmistukseen. Visuaalista johtamista pyrittiin yhtenäistämään valmiiksi määriteltujen väri-luokitusten mukaan, jotta värit indikoisivat esimerkiksi tiettyä erää materiaalia. Myös tietyt kulkuväylät merkittiin tietyillä väreillä ja katkoviivoilla suunnitelmiin.

Logistinen suunnittelu tehtiin ensin karkeammin ja kriittisin osa rakennuksesta tietomallinnettiin hyvin tarkkaan. Jokainen materiaaalierä sijoitettiin mallintamalla parhaimmalle mahdolliselle paikalle, josta se on helpoin asentaa, ottaen huomioon kuitenkin koko työmaan alueen. Logistiikkasuunnitelmien tekemisen aikana käytiin kokouksia logistiikkaan ja sen suunnitteluun liittyen materiaalitoimittajan ja työmaainsinöörin kanssa, jotta suunnitelmat saivat oikeat lähtötiedot ja tarvittavan ohjauksen.

Mallintamisessa käytettiin geometrialtaan realistisia rakennusosia, joille annettiin asennusjärjestys. 3D-mallissa näkyi tietyn vaiheen varastoidut ja asennetut rakennusosat oikeassa paikassa tietyinä ajanjaksona. Lisäksi varastoitujen rakennusosien asennusjärjestys kuvattiin keltaisella nuolella. Kyseisessä rakennushankkeessa kriittisen rungonpystytysvaiheen tarkka 4D-mallinnus ja visualisointi vähensivät rakennusosien varastointia 60% ja paransi prosessin tuottavuutta 15%. (Bortolini et al. 2015)



Kuva 19: Kuvakaappaukset kriittisen runkovaiheen tarkemmasta 4D-simulaatiosta. (Bortolini et al. 2015)



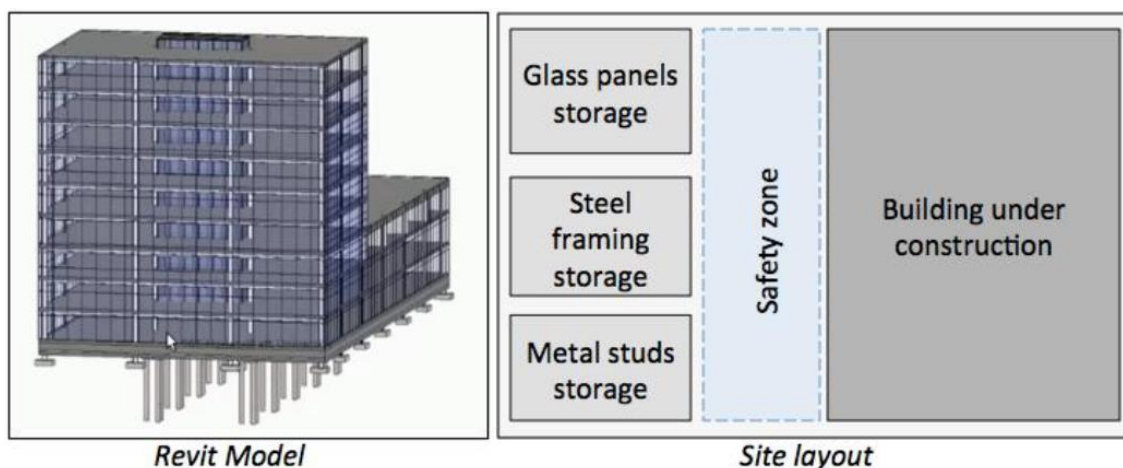
Kuva 20: Suunnitellun ja todellisen tilanteen vertailua. (Bortolini et al. 2015)

3.8.2 Esimerkki 2: Tietomallipohjainen logistiikan suunnittelu

Rakennusaikataulussa tulee olla mukana tietoa resursseista ja materiaalien määristä. Tämän perusteella voitiin suunnitella eri rakennusvaiheiden logistiikka perustuen todellisiin materiaalmääriin. Määrät saatiin tietomallista. Rakennushankkeet ovat kuitenkin harvoin aikataulussa. Tästä johtuen logistiikkaa ei voitu suunnitella aikataulun pohjalle kovin karkeasti. Työtehtävät tuli pilkkoa tarpeeksi pieniksi palasiksi, jotta logistiikan suunnittelu

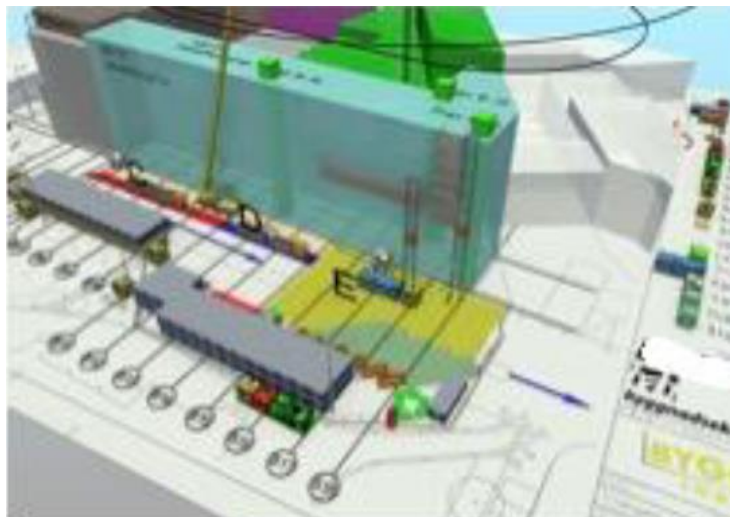
oli mahdollista. Se asetti kuitenkin tiukkoja vaatimuksia tietomallin tarkkuustasolle. Materiaalin varastointitilat voitiin jakaa rakennuksen ulkopuolella oleviin ja rakennuksen sisällä oleviin varastointitiloihin. Jokaiselle materiaalin varastointitilalle määriteltiin rajansa aluesuunnitelmassa ja tilan tarve perustui tietomallista saatuihin määriin. Jokaisella varastointitilalla oli maksimivarastointikapasiteetti, jota ei voitu ylittää. Rakennustyömaan tilan seuranta antoi tietoa tilan käytöstä eri rakennusvaiheissa.

Materiaalitoimitusten koordinoinnin avulla saatiin seurattua materiaalivirtoja. Tämä mahdollisti myös loppumaisillaan olevien materiaalien tilauksen, ennen niiden loppumista. Systemi antoi hälytyksen, kun materiaalia oli määrätyn verran jäljellä, mikä synnytti automaattisesti niin sanottua imua. Myöhästymiset aiheuttivat ajoittain ongelmia materiaalin toimituksen ja tilavarauksien kesken. Materiaalia tuli enemmän, kuin tilaa oli saatavilla. Tämä pystyttiin korjaamaan joko toimituksen lykkäämisellä tai tarkistamalla tilavarauksista ylimääräisen materiaalin sijoituspaikan.



Kuva 21: Logistiikan suunnitteluun tarvitaan tietomallin määriä ja aluesuunnitelma, jossa materiaaleille on varattu omat tilansa. (Skjelbred et al. 2015)

Systemin avulla aliurakoitsijalla ja pääurakoitsijalla oli paremmat mahdollisuudet nähdä materiaalin toimitusten, varastoinnin ja tarpeen vaikutus työmaahan ja täten suunnitella materiaalin virtaus etukäteen ja seurata sitä. (Cheng & Kumar 2015) Tarkka logistiikan ja sujuvien materiaalivirtojen suunnittelu tulee olla tärkeä osa työmaan ja rakentamisen suunnittelua. Logistiikan lisäksi työmaan aluesuunnittelu ja sen toimintoihin tarvittavien resurssien varaaminen olivat tärkeässä asemassa tehokkaassa tuotannossa. (Skjelbred et al. 2015)



Kuva 22: Alue- ja logistiikkasuunnittelu voitiin yhdistää ja niiden variaatioita voitiin tutkia 3D-mallin avulla. (Skjelbred et al. 2015)

3.8.3 Esimerkki 3: 4D-avusteisen rakentamisen koordinoinnin prosessi

Amerikkalainen rakennusyritys käytti tehdas- sekä sairaalarakennuksen rakentamisessa 3D- ja 4D-malleja (Staub-French & Khanzode 2007). Tarkan ja koordinoitun 4D-mallin tekemisen edellytyksenä olivat seuraavat vaiheet:

1. Eritellään työvaiheet ja tunnistetaan työn virtaus.
2. Mietitään asennusjärjestys valmiiksi.
3. Järjestellään 3D malli uudelleen.
4. Viimeistellään aikataulu.
5. Linkitetään 3D objektit ja työtehtävät.
6. Viimeistellään 4D malli.

Ensimmäisessä vaiheessa täytyi tunnistaa työn eri vaiheet ja ymmärtää kuinka työ virtaa projektin aikana eri aliurakoitsijoilla. Tähän tarvittiin yhteistyötä aliurakoitsijoiden esimiesten kanssa, jotka suunnittelevat työtä. Projektissa rakennukset jaettiin lohkoihin ja varmistettiin karkeasti jo tässä vaiheessa, että työn etenemiselle ei ole esteitä materiaalin liikkumisen ja varastoinnin kannalta.

Toisessa vaiheessa tarkennettiin asennusjärjestystä pienempien ja tarkempien alueiden osalta ja otettiin selvää eri työtehtävien keskinäisistä riippuvuuksista. Esimerkkikohteessa jokaisen pienemmän työalueen työtehtävät pysyivät melko samoina, mutta poikkeamat tuli kuitenkin tunnistaa. Kohteessa suunniteltiin työjärjestys talotekniikan osalta kirjaimella tiedot järjestelmä kerrallaan asennusjärjestykseen.

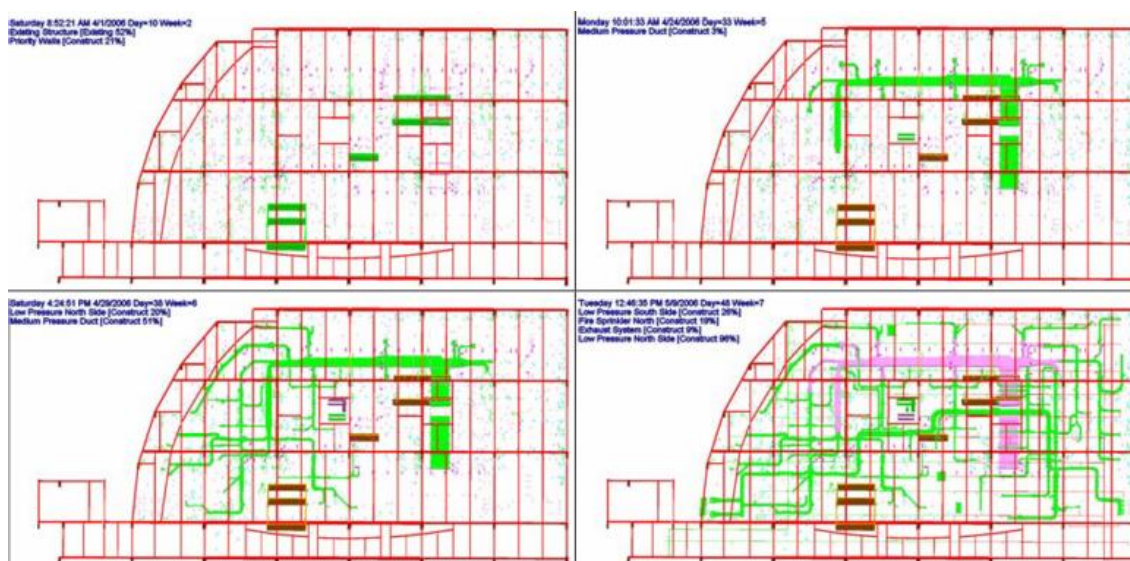
Kolmannessa vaiheessa 3D mallia voidaan joutua muokkaamaan sellaiseen muotoon, jolla se pystytään liittämään toisen vaiheen työtehtävien kanssa. Tämä voi olla kaikista

aikaa vievin vaihe 4D mallin muodostuksessa. Hankkeissa käytettiin 4D-ohjelmien lisäksi aikatauluohjelmia. Eri työvaiheisiin liittyvät osat jaettiin omiin ryhmiinsä, joita pystyi valitsemaan tarvittaessa. Näitä ryhmiä kutsuttiin valintaryhmiksi.

Neljännessä vaiheessa viimeisteltiin varsinainen aikataulu, jossa työvaiheet kuvattiin samoilla nimillä, kuin edellisen vaiheen valintaryhmät. Tässä vaiheessa määritellään jokaisen työtehtävän tarkka alku- ja loppupäivämäärä. Aikataulu voidaan tehdä joko yleisikataulun pohjalta, tai tehdä uusi aikataulu pienemmällä laajuudella.

Viidennessä vaiheessa 3D-objektit linkitetään näiden aikataulutettujen työtehtävien kanssa. Esimerkiksi valmiiksi ryhmitellyt kylmävesiputkien 3D-objektit linkitettiin aikataulutettuihin työtehtäviin, joihin kyseiset objektit liittyivät. Esimerkkikohteessa pääura-koitsija paransi yleisikataulun tarkkuutta päivätasolle, jotta urakoitsijoille pystyttiin kuvaamaan päiväkohtaisesti aikataulutetut työtehtävät.

Kuudennessa vaiheessa viimeisteltiin edellisessä vaiheessa luotu 4D-malli. Objektien väriä vaihdettiin dynaamisesti vaihtumaan tarkasteltua ajanjaksoa vastaavaksi. Esimerkiksi vihreä objektin väri tarkoitti, että osaa ollaan juuri asentamassa tarkasteltuna aikana. Riippuen 4D-ohjelman mahdollisuuksista, suunnitelman eri vaiheita saadaan havainnollistettua muun muassa vaihtamalla objektien väriä, läpinäkyvyyttä, suodatusta, nopeutta, merkintöjä ja asentoa. (Staub-French & Khanzode 2007)



Kuva 23: Kuvakaappaukset 4D suunnitelmasta, jossa seinärungon asennus ja putkistustyö etenivät rinnakkain. (Staub-French & Khanzode 2007)

4. TUTKIMUKSEN SUORITUS

Tutkimusstrategian laadinta tälle työlle on perustunut yrityksen tarpeeseen saada kansainvälistä kartoitusta virtuaalisesta rakentamisesta ja samalla tarpeeseen viedä tuotannon mallinnusta kohti virtuaalista rakentamista. Tutkimus on laadultaan empiirinen ja sen yhdeksi luonteenpiirteeksi voidaan tunnistaa niin sanottu poikittaistutkimus, jolla saadaan tietoa tuotannon mallinnuksen ja virtuaalisen rakentamisen nykytilasta kohdeyrityksessä ja kansainvälisesti. Tutkimusstrategia voidaan lopulta konkretisoida tapaustutkimukseksi. Tapaustutkimuksen kohteena tässä tutkimuksessa kohdeyritys ja sen toiminta tuotannon mallinnuksen osalta. Tapaustutkimukselle ei ole yksiselitteistä määritelmää, mutta sen avulla saadaan kerättyä yksityiskohtaista ja intensiivistä tietoa yksittäisestä tapauksesta. Tapaustutkimukseen ei ole olemassa erityistä, tapaustutkimuksen omaa analyysimenetelmää. Aineistonkeruumenetelminä voidaan kuitenkin käyttää esimerkiksi havainnointia, haastattelua, dokumenttien analysointia, tilastojen hyödyntämistä ja lomakekyselyjä. (Aaltola & Raine 2001) Tässä tutkimuksessa aineiston keräämiseen valittiin kirjallisuuskatsaus, teemahaastattelu sekä osallistavat työpajat. Työpajojen kautta saatiin tuotannon mallintajat mukaan tutkimukseen, jolloin kyseisen asiantuntijaryhmän erityisosaamista ja tietoutta päästiin hyödyntämään. Tutkimuksen varsinainen prosessi on kuvattu jo johdantokappaleessa.

4.1 Kirjallisuuskatsaus ja sen toteutus

Kirjallisuuskatsaus tehtiin tässä työssä ensimmäisenä ja se toimi teoriapohjana tutkimuksessa tehdyille teemahaastatteluille ja työpajoille. Kirjallisuuskatsauksessa tarkoituksena oli kerätä kansainvälistä tietoa, ohjeita ja käyttötapauksia virtuaalisesta rakentamisesta ja tuotannon suunnittelusta. Katsaus oli luonteeltaan kartoittava, eli sillä selvitettiin tutkitavan aiheen laajuutta ja luonnetta. (Coughlan et al. 2013) Kirjallisuuskatsaus antoi lisäksi vertailukohdan kohdeyrityksen nykyisen tuotannon mallinnuksen tilan ja tutkimusten tulosten analysointia varten. Jotta kirjallisuuskatsauksesta saatiin järkevä vertailuarviointi, lueteltiin esille tulleet oleelliset asiat synteisiin ja niitä verrattiin muihin tuloksiin tulosten tarkasteluvaiheessa. Kirjallisuuskatsaus vastaa tutkimuskysymykseen ”2. Mitkä ovat nykyaikaisen tuotannonsuunnittelun parhaita käytäntöjä rakentamisen valmisteluvaiheessa kansainvälisesti?”.

Lähteitä läpikäydessä tutkija valitsi parhaimmalta vaikuttavat tutkimuspaperit otsikoinnin perusteella yli sadan aihealueeseen liittyvä tutkimuspaperin joukosta ja keskittyi valittuihin tutkimuksiin tarkemmin. Kaikista läpikäydyistä tutkimuksista lopulta vain alle puolet käytiin tarkemmin läpi. Kirjallisuutta luettaessa aineistoa arvioitiin jatkuvasti muistiinpanojen ja tutkijan oman pisteytyssysteemin kautta, jotta kaikista oleellimmat

lähteet saatiin valittua tutkimukseen. Edelleen näistä noin viidestäkymmenestä tutkimuspaperista mukaan otettiin tähän työhön parhaiten soveltuvat ja oleellista tietoa tarjoavat lähteet.

4.2 Teemahaastattelut ja niiden toteutus

Teemahaastatteluilla kartoitettiin kohdeyrityksen sisäistä tarvetta tuotannon mallinnukselle ja sen eri ominaisuuksille. Haastattelututkimuksen teema-alueet määritettiin tarkentavan tutkimuskysymyksen ”3. *Mitä ominaisuuksia tuotoksilta odotetaan ja vaaditaan, jotta tuotannonsuunnitteluun voidaan kytkeä oikea osaaminen oikeaan aikaan?*” kautta. Teemojen ja kysymysten muodostamisessa painotettiin visuaalisten toimintatapojen ja visuaalisuuden taustalla olevan tiedon esille saamista. Visuaalisuuden ja tuotannon suunnittelun tarpeen lisäksi haastattelu kartoitti lopulta myös kohdeyrityksen virtuaalisen rakentamisen ja tuotannon suunnittelun tilaa ja sen kytkeytymistä muihin kohdeyrityksen prosesseihin.

Teemahaastattelu suoritettiin niin sanottuna puolistrukturoituna haastatteluna. Tällaisessa haastattelussa laaditaan teemat ja teemojen alle kysymykset haastateltaville. Vastaaminen kysymyksiin on vapaampaa, kuin esimerkiksi strukturoidussa haastattelussa. Strukturoidussa haastattelussa tarkat vastausvaihtoehdot ovat jo valmiina, toisinkuin puolistrukturoidussa haastattelussa. (Aaltola & Raine 2001)

Ensimmäinen teema ”1. *Esipuhe ja taustoittavat kysymykset*” oli tärkeä osa haastattelun aiheen pohjustusta. Teemalla saatiin paremmin haastateltava mukaan haastatteluun ja haastattelun aiheet tulivat selkeämmin esille. Jokaiselle haastateltavalle esiteltiin kohdeyrityksen toimesta muodostettu kuvaaja tuotannon mallintajien palvelutuotteista ja niihin vaadittavista lähtötiedoista (Liite 2). Teemahaastatteluja varten laadittiin teemat ja apukysymykset yhteistyössä ohjaajien kanssa. (Liite 3) Varsinaisten tulosten osalta teemat ”2. *Visuaalinen ja havainnollinen tiedon esittäminen tuotannon mallinnuksessa*” ja ”3. *Tuotannon mallinnuksen tuotosten tietosisältö ja niiden käyttö*” olivat tärkeimmässä asemassa. Viimeinen teema ”4. *Muuta / Vapaa sana*” oli jätetty viimeiseksi, jotta haastattelun edetessä mieleen tulleet asiat saatiin vielä mukaan haastatteluun. Lisäksi kysymyksellä ”4.1. *Mikä on kaikista tärkeintä tuotannon suunnittelussa ja rakentamisen valmistelussa?*” haluttiin saada haastateltavilta yhteenvetoa ja yleisempää vastausta haastattelun asioista. Kysymys myös mahdollisti vielä mietityttämään jääneiden asioiden esilletulon.

Haastattelut suoritettiin vuoden 2016 alkupuolella. Haastattelut järjestettiin sekä videopuheluilla että kohdeyrityksen toimistotiloissa keskustelemalla kasvokkain. Ensimmäinen haastattelu toimi testihaastatteluna muodostetulle teemahaastattelun rungolle. Muutoksia haastattelurunkoon ei kuitenkaan ollut tarpeellista tehdä ensimmäisen haastattelun perusteella. Alla olevassa taulukossa 1 on eritelty haastateltavien titteli ja haastattelun ajankohta.

Taulukko 1: Haastateltavien tunnus, titteli ja haastatteluajankohta.

| Haastateltava | Titteli | Ajankohta |
|---------------|----------------------|-----------|
| H1 | Vastaava työnjohtaja | 21.1.2016 |
| H2 | Vastaava työnjohtaja | 22.1.2016 |
| H3 | Laskenta | 26.1.2016 |
| H4 | Työpäällikkö | 29.1.2016 |
| H5 | Vastaava työnjohtaja | 29.1.2016 |
| H6 | Projektipäällikkö | 1.2.2016 |
| H7 | Työpäällikkö | 8.2.2016 |
| H8 | Hankinta | 17.2.2016 |

Nauhoitetut haastattelut litteroitiin vasta haastattelun jälkeen, jotta haastattelutilanteessa ollessa keskittyminen ei kohdistuisi kirjoittamiseen, vaan itse haastattelun pitämiseen. Haastattelussa puhuttu aineisto nauhoitettiin digitaaliseksi äänitiedostoksi. Äänitiedostossa ollut puhe litteroitiin ilman äännähdyksiä, täytesanoja tai aihepiiriin ja haastatteluun kuulumattomia asioita. Täten tekstiä on tiivistetty jo tässä vaiheessa, jotta aineiston käsittely olisi helpompaa ja vähemmän aikaa vievää seuraavien vaiheiden aikana. Litterointi suoritettiin yleensä samana tai seuraavana päivänä haastattelun pitämisestä.

Litteroinnin kirjoitus tapahtui Excel-tilukkkoon, jossa jokaisen kuunnellun lauseen tai kappaleen jälkeen puhuttu teksti sijoitettiin sen kysymyksen alle, johon lause tai kappale pääasiallisesti vastasi. Haastateltava saattoi vastata useampaankin kertaan samaan kysymykseen täydentääkseen tai korjatakseen vastausta, jolloin uusi vastaus tuli uudelle riville. Jokaisesta vastauksesta käy ilmi, kenen haastateltavan vastaus on ja mihin kysymykseen vastaus liittyy. Lisäksi vastaukset ovat esiintymisjärjestyksessä, joten vastauksia voidaan käydä läpi tarvittaessa kronologisessa järjestyksessä asiayhteyksien tarkistamiseksi. Excel-tilukkkoon muodostui yhteensä 249 riviä. Yhdellä tilukon rivillä on keskimäärin 3 lausetta, joiden asiasisältö vastaa kysymykseen. Raaka litterointiaineisto sisältää yli 8000 sanaa. Tätä aineistoa on tulkittu ja analysoitu tuloksissa luettavampaan, ymmärrettävämpään ja tiivistetumpaan muotoon. Litteroitujen 249 rivin asiasisällön perusteella laadittiin 144 selkeytettyä ja tulkittua vastausta, joiden perusteella pysyttiin kirjoittamaan tulkitut tulokset tähän työhön.

Excel litteroinnin hyvänä puolena oli suuren litteroidun aineiston jäsentelyn helppous. Työskentelytapa vaati kuitenkin täsmällistä ja systemaattista tekstin jäsentelyä tekstiä kirjoitettaessa. Ohjelman suodatus-, järjestä- ja solujen muotoilu-toimintojen kautta vastauksia pystyttiin käymään kysymys- tai vastaajakohteisesti läpi. Tällöin aineiston analysointi oli helpompaa ja johdonmukaisempaa. Tämän jälkeen myös analysoitujen ja tulkittujen tulosten kirjoitus sujui tilukointitoimintoja hyödyntäen nopeammin.

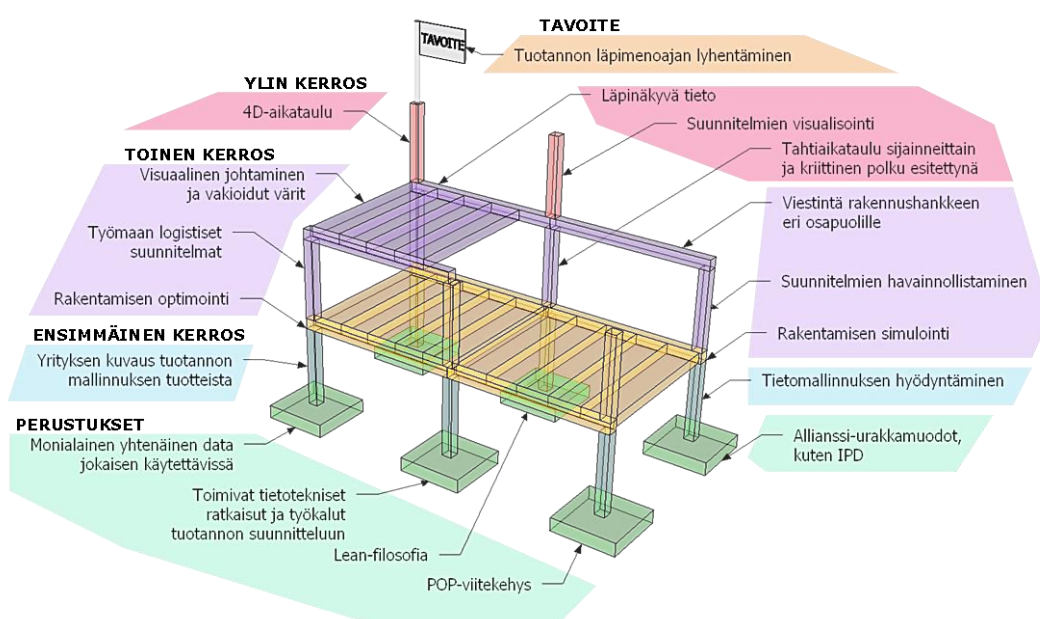
”Tuotannon mallintajien toiminta ja palvelutuotteet”. Työpajan tarkempi sisältö käy ilmi tämän työn luvussa, jossa käsitellään työpajan tuloksia.

5. TULOKSET JA NIIDEN TULKINTA

Tässä luvussa on esitetty tulokset kirjallisuuskatsauksesta, teemahaastatteluista ja työpa-joista. Tämän kappaleen tarkoituksena on antaa selkeä kuva tuloksista ja tehdä yhteenve-toja tulosten asiasisällöstä. Tulosten tulkinnalla tarkoitetaan pääasiassa teemahaastattelun aineiston tulkintaa, mutta osittain myös tehtyjä yhteenvetoja. Yhteenvetojen kautta pys-tytään selkeämmin käsittelemään ja huomaamaan tulosten kautta esille tulleita asiayh-teyksiä ja yleistyksiä tulosten tarkastelussa ja analyysissä.

5.1 Kirjallisuuskatsauksen yhteenveto

Tällä yhteenvedolla halutaan koota ja tulkita kirjallisuuskatsauksen laajaa asiasisältöä tii-viimpään muotoon ja vetää yhteen kirjallisuuskatsauksen teoriaa. Kirjallisuuskatsauksen kautta saatu tieto on lopulta kuitenkin osa tuloksia. Kirjallisuuskatsauksen kautta saatu kuva tuotannon mallinnuksesta virtuaalisen rakentamisen konseptissa pystytään visuali-soimaan vertauskuvallisesti rakennuksen vielä kesken olevaksi rungoksi, kuten Kuva 25: Kirjallisuuskatsauksen kautta saatu kuva virtuaalisen rakentamisen ja tuotannon mallin-nuksen tärkeimmistä aihealueista visualisoituna vertauskuvallisesti rakennuksen kesken-eräiseksi rungoksi. nähdään. Kuvassa lähdetään perustavaa laatua olevista asioista, eli perustustasosta, ja edetään ylimpään niin sanotusti näkyvimpään kerrokseen. Rakennuk-sen runko sopii kuvaamaan tuotannon mallinnusta siksi hyvin, että tuotannon mallinnuk-sen ”runko” on kuvattu jo nyt, mutta ympäriltä puuttuvat muut pienemmät rakennusosat. Rungon ja ”rakennuksen” keskeneräisyys kuvaa tuotannon mallinnuksen ja virtuaalisen rakentamisen konseptin kehittämistä ja meneillään olevaa työtä.



Kuva 25: Kirjallisuuskatsauksen kautta saatu kuva virtuaalisen rakentamisen ja tuotannon mallinnuksen tärkeimmistä aihealueista visualisoituna vertauskuvallisesti rakennuksen keskeneräiseksi runoksi.

Vaikka tuotannon mallinnus ja sen tuotokset määritellään jo melko tarkasti kirjallisuuskatsauksessa kohdeyrityksen laatiman tuotannon mallintajien tuotoksien kuvauksen kautta, on tuotoksille kuitenkin löydetty kehitysalueita jo kirjallisuuskatsauksen kautta. Ne mukailevat luonnollisesti hyvin paljon kirjallisuuskatsauksen kautta löytyneitä asioita, joita edellisessä kuvassa esiteltiin. Näitä tuotannon mallinnuksen kehitysalueita ovat muun muassa

- Lean-ajatusmaailman liittäminen filosofiseksi pohjaksi tuotannon mallintamiseen,
- IPD:n tai muiden allianssi-urakkamuotojen suosiminen,
- virtuaalisen rakentamisen ja tuotannon mallinnuksen selkeiden kehitystavoitteiden asettaminen ja niiden täyttymisen seuraaminen,
- rakennushankkeissa käytettävän informaation läpinäkyvyyden parantaminen tiedon käyttäjän kannalta,
- ohjelmistojen tiedonsiirron rajapintojen parantaminen,
- POP-viitekehityksen käyttöönotto virtuaalisen rakentamisen ja tietomallien linkittämiseen tuotannon mallinnuksen ja rakennushankkeen tietojen yhtenäistämiseksi,
- hankkeisiin sopivien 4D-aikataulutökalujen pilotointi ja käyttöönotto,
- työmaan logististen ja alueen käytön huomioivien suunnitelmien huolellinen tekeminen,
- yhtenäisen ja selkeän värikoodauksen käyttäminen tuotannon suunnitelmien visualisoinnissa ja
- visuaalisen johtamisen toimintatapojen hyödyntäminen tuotannon mallinnuksessa.

Yllä olevat asiat ovat olleet tutkimuksissa ja ohjeissa tärkeässä asemassa rakennushankkeen läpiviennin kehittämisen kannalta. Tutkimuspapereissa esiintyneet esimerkkikohteet edustavat käytännönläheisemmin nimenomaan työmaan aikataulun, aluesuunnittelun ja logistiikan suunnittelua tuotannon näkökulmasta. Näiden kolmen kohteen pohjalta pystyttiin luomaan 4D-aikataulun tekemisen prosessikaaviot, joista parhainta materiaalia saatiin kolmannen esimerkkikohteen prosessikuvauksesta.

Kirjallisuuskatsauksen oleellisimmista lähteistä muodostettiin Taulukko 2: Parhaimmat lähteet kirjallisuuskatsausta koottaessa., josta voidaan nähdä, mihin teemaan lähde on käytetty lähdekirjallisuutena. Taulukon kirjallisuuslähteiden teemoittelu on tehty ainoastaan tämän työn kirjallisuuskatsauksen perusteella, joten lähteistä voi löytyä myös useampia teemoja taulukkoon. Muita lähteitä käytettiin harvemmin useaan teemaan, joten

niitä ei ole listattu yhtä oleellisina tarkasteltaessa niiden kattavuutta tämän työn lähdekirjallisuutena yleisesti. Niiden arvoa jatkotutkimusaineistona ei pidä kuitenkaan vähätellä, vaan niitä tulisi tutkia jopa entistä tarkemmin. Lähdeluettelo löytyy luonnollisesti tämän työn lopusta.

Taulukko 2: Parhaimmat lähteet kirjallisuuskatsausta koottaessa.

| | Teema | Virtuaalinen rakentaminen | Tietomallipohjainen suunnittelu | Lean Construction ja LPDS | POP-malli | Integrated Project Delivery | Yhteistyö | 4D-suunnittelu | Visuaalisuus |
|---|-------|---------------------------|---------------------------------|---------------------------|-----------|-----------------------------|-----------|----------------|--------------|
| Lähdekirjallisuus | | | | | | | | | |
| Kunz, J. & Fischer, M., 2012. Virtual Design and Construction: Themes, Case Studies and Implementation Suggestions | | x | | x | x | x | x | x | x |
| Khanzode, A. et al., 2006. A Guide to applying the principles of virtual design & construction (VDC) to the lean project delivery process | | x | x | x | x | | x | | |
| Alarcón, L.F., Mandujano, M.G. & Mourgues, C., 2013. Analysis of the implementation of VDC from a lean perspective: Literature review. | | x | | x | | | | | |
| Laine, E., Alhava, O. & Kiviniemi, A., 2014. Improving Built-in Quality by BIM Based Visual Management. | | | | x | | x | | | x |

5.1.1 Virtuaalinen rakentaminen ja sen haasteet lyhyesti

Virtuaalisessa rakentamisessa rakentamista simuloidaan ja optimoidaan ennen varsinaista rakentamista. VDC-mallissa yhdistyvät rakennushankkeen erilaisten toimialojen tietomallit ja tiedot yhtenäiseksi kokonaisuudeksi. Monialainen data pyritään yhtenäistämään ja antamaan kaikkien käyttöön. Yrityksen on muodostettava oma lähestymistapansa virtuaaliseen rakentamiseen ja se tulee ottaa käyttöön siitä saatava arvontuotto huomioiden. Tietotekniset ratkaisut ovat vielä pilottitasolla ja virtuaalisen rakentamisen käyttöönotto voi olla työlästä. Virtuaaliselle rakentamiselle tulee olla myös selkeät tavoitteet. Kirjalli-

suusselvityksessä annetaan lyhennetty ohje toimenpiteiden muodostamiselle, mutta tarkempaa toimintamallia tulee tutkia lähdekirjallisuuden kautta. Virtuaalisen rakentamisen käyttöönoton strategian muodostamisessa

- VDC:llä tulee olla tavoitteiden saavuttamisen jälkeen arvoa tuottava vaikutus.
- tavoitteiden läpinäkyvyys ja tarkkuus ovat tärkeässä asemassa.
- virtuaalisen rakentamisen kehittämiseen ja käyttämiseen varattavien resurssien allokointi on otettava huomioon.

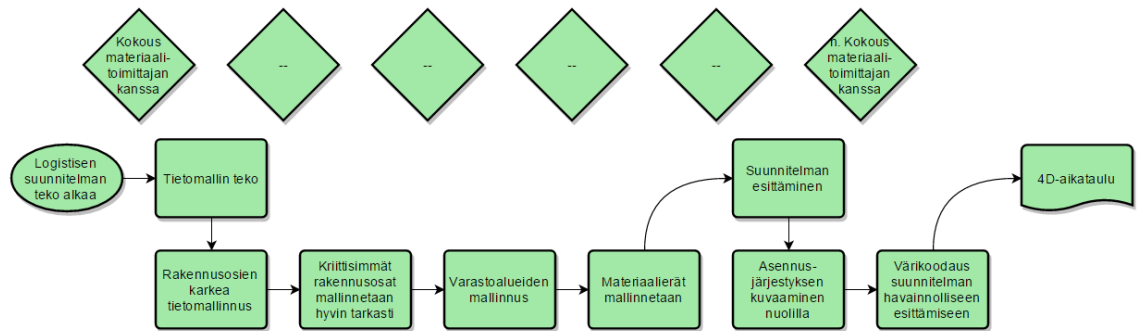
Virtuaalisen rakentamisen käyttöönotossa on kuitenkin vielä paljon haasteita, jotka ovat listattuna kirjallisuuskatsauksessa. Näitä haasteita ovat muun muassa seuraavat asiat:

- Paperidokumentteja käytetään vielä paljon
- Kulttuurista johtuvat esteet
- Ohjelmien rajapintojen ongelmat
- Ohjelmistojen sisäiset ongelmat
- Laitteistojen ongelmat ja rajoitteet
- Tietotaidon puute
- Sitoutumisen puute
- Asiakas ei ymmärrä virtuaalisen rakentamisen hyötyjä

5.1.2 Esimerkkikohteiden prosessien tulkinta

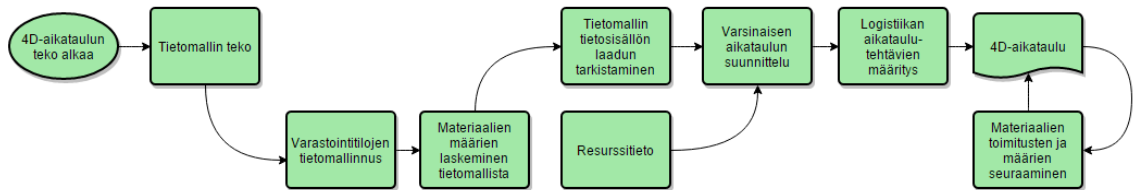
Kirjallisuuskatsauksen esimerkkikohteiden kautta saatiin tietoa siitä, miten 4D-aikatauluja ja logistisia suunnitelmia ollaan tehty. Kun esimerkkikohteiden 4D-aikataulun tekemisen prosessi kuvataan prosessikuvaajan kautta, saadaan muodostettua vaihtoehtoisia prosesseja toiminnalle. Tällöin prosesseja voidaan heijastaa kohdeyrityksen toimintaan ja parhaimmat toimintamallit voidaan ottaa käyttöön yrityksen toimintaan. Esimerkkikohteiden tarkempi kuvaus löytyy kirjallisuuskatsauksen puolelta. Prosessit ovat tulkittu seuraavissa kappaleissa prosessikuvaajien muotoon.

Ensimmäisessä esimerkkikohteessa keskityttiin enemmän logistiikan ja aluesuunnitelman problematiikkaan. Prosessin toimivuutta mietittäessä esimerkiksi asuntorakentamisessa tulee ottaa huomioon, että kohde on tyypiltään tehdashalli. 4D-aikataulun avulla saatiin kuitenkin merkittävästi vähennettyä varastointia ja tuotantoprosessin tehokkuus parani. Ohessa on kuvattuna karkeasti logistisen 4D-suunnitelman tekoprosessi kyseisessä esimerkkikohteessa.



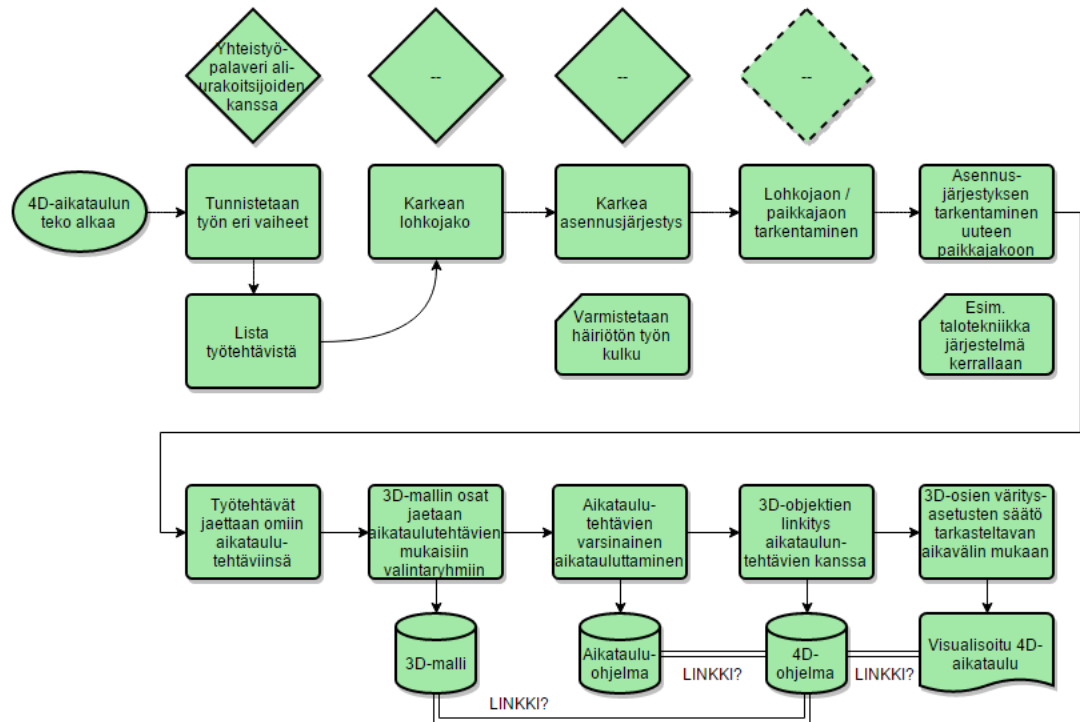
Kuva 26: Esimerkki 1: tehdashallin 4D-aikataulun muodostamisen karkea prosessi.

Toisessa esimerkikohteessa keskityttiin toimistorakennuksen 4D-aikatauluun, jossa edelleen painotettiin logistiikan suunnittelua ja materiaalivirtojen seuraamista. Kohteessa laskettiin materiaalien määrät suoraan tietomallista. 4D-aikataulun avulla materiaalin toimitusten ja määrien seuraaminen paranivat. Tästä oli hyötyä sekä pääurakoitsijalle, että aliurakoitsijalle. Ohessa on kuvattuna karkeasti logistisen 4D-suunnitelman tekoprosessi kyseisessä esimerkikohteessa.



Kuva 27: Esimerkki 2: toimistorakennuksen 4D-aikataulun muodostamisen karkea prosessi.

Kolmannessa esimerkikohteessa sairaala- ja tehdasrakennuksen 4D-aikataulun tekemisen prosessi kuvattiin muita tarkemmin ja käytännönläheisemmin. Valmiin 4D-mallin avulla pystyttiin visualisoimaan ja analysoimaan rinnakkain eteneviä työvaiheita esimerkiksi kuvakaappausten kautta ymmärrettävästi. Toimintatavassa ei käynyt ilmi, oliko linkitys ohjelmistojen välillä yksi- vai kaksisuuntainen. Ohessa on kuvattuna karkeasti kolmannen esimerkikohteen 4D-suunnitelman teon prosessi.



Kuva 28: Esimerkki 3: Sairaala- ja tehdasrakennuksen 4D-aikataulun tekemisen prosessi.

5.2 Haastattelujen aineiston tulkinta, kuvaus ja tulokset

Tässä tutkimuksen osassa esitellään teemahaastattelun aineistosta saadut tulokset, jotka vastaavat tutkimuskysymykseen ”3. Mitä ominaisuuksia tuotoksilta odotetaan ja vaaditaan, jotta tuotannonsuunnitteluun voidaan kytkeä oikea osaaminen oikeaan aikaan?”. Litteroitua haastatteluaineistoa on jäsennelty tähän osioon pääsoin haastattelun teemojen kautta, mutta myös tarkemmin haastatteluissa esille tulleiden luokkien kautta. Haastattelun teemat on pilkottu pienemmiksi luokiksi esianalysointivaiheessa. Aineistosta kirjoitettiin vain oleellinen asia tähän työhön, jolla tarkoitetaan virtuaalisen rakentamisen ja tuotannon suunnittelun kannalta oleellista tietoa. Tätä kutsutaan niin sanotuksi merkityksen tiivistämiseksi, jossa haastateltavan vastaus esitetään tiiviimmässä muodossa. (Hirsjärvi & Hurme 2011) Vastausten asiasisältö on kuitenkin pidetty mahdollisimman tarkkaan samana.

Jotta aineiston luokittelu oli mahdollista, litteroidut haastattelut luettiin kerran nopeasti läpi ja niistä koottiin erilliseen muistioon asiakokonaisuuksia ja käsitteitä. Näistä käsitteistä muodostettiin ideakartta, jossa kuvattiin eri asiakokonaisuuksien yhteyksiä toisiinsa ja muodostettiin luokkia. Tämän kaltaista luokittelua kutsutaan merkitysten luokitteluksi. (Hirsjärvi & Hurme 2011) Luokkien kautta tekstiä voitiin edelleen jäsennellä lukujen sisällä järjestelmällisemmin.

5.2.1 Ymmärrettävä visuaalinen esitys ja 3D-tekniikat

3D-tekniikkaa ja visualisointeja ei ole vielä hyödynnetty paljon aikataulujen tekemisessä. (H7) Vastaavan työnjohtajan mielestä havainnollinen ja yhtenäinen esitystapa auttaa kuitenkin perehtymään työmaan suunnitelmiin ja löytämään oikeita toteutusratkaisuja ja viemään niitä eteenpäin. (H1) Tulevaisuudessa on tarkoitus panostaa huolellisesti tehtyihin aikatauluihin, jotta työmaalla suunnitelmiin tehtävät muutokset vähenisivät. Aikataulut tulisi olla helposti ymmärrettäviä, visuaalisia ja myös pohjautua rakennuksen määriin. (H2) Visuaalisesta ja havainnollisesta toimintatavasta on lisäksi apua viestintään ja johtamiseen. (H3)

Paikka-aikakaavio on tarpeeksi visuaalinen ja selkeä jo nyt, kun sitä verrataan esimerkiksi jana-aikatauluun. (H1) (H7) Paikka-aikakaavio on visuaalisempi ja auttaa hahmotamaan paremmin työtehtävien paikkariippuvuutta. Tämän ansiosta on saatu havainnollistettua niin sanottuja seisokkiaikoja ja korjattua aikataulua. Paikkajakoon perustuvassa aikataulussa päällekkäisten työvaiheiden ristiriidat tulevat helpommin esille. (H1)

Kolmiulotteisena esityksenä tehtävän aikataulun hyvänä puolena on asennusjärjestyksen havainnollistaminen sekä esityksen avulla saatavat lähtötiedot esimerkiksi aluesuunnittelua varten. (H8) Runkoasennuksen lisäksi paaluasennuksen sekä sisätyövaiheen aikataulu olisi hyvä visualisoida ymmärrettävästi. (H1) 6/8 Haasteltavista on sitä mieltä, että rungon visualisointi selkeyttää merkittävästi asennusjärjestystä. Visualisoinnista nähdään nopeasti, mistä kohtaa rakennustyöt aloitetaan ja missä järjestyksessä kukin työvaihe tehdään. Työmaalla haluttaisiin käyttää visualisoitua runkoaikataulua työmaakouksissa (H2) tai jo urakkaneuvottelussa (H7).

Kaikki haastateltavista olivat sitä mieltä, että visualisoitua aikataulua olisi hyvä näyttää myös tilaajalle, suunnittelijoille ja aliurakoitsijoille. Hyvä visualisoitu esitystapa on ainakin tällä hetkellä positiivisella tavalla muiden yritysten toimintatavasta eroava seikka ja vahvistaa myös luottamusta aikataulusuunnitteluun. (H2) (H3) Lisäksi hyvä visualisointi on tehokas johtamisen ja viestinnän väline. (H3) Vastaavan työnjohtajan mielestä esimerkiksi vesikaton rakentamisen työtehtävien työjärjestys ja asennusratkaisujen suunnittelu olisi hyödyllistä havainnollistaa visualisointien ja 3D-tekniikoiden avulla. (H5)

”No ihan varmasti siitä olisi hyötyä ainakin tilaajan suuntaan. No tietenkin työmaan suuntaankin, että jos pystyttään näyttämään joku kokonaisuus: tämä rakentuu näin, tämä maksaa tämän verran, tämä palikka tähän, tämä tuloutuu tai menee rahat tämän aikataulun mukaisesti.” – H4, Työpäällikkö

Kuvat luonnollisesti auttavat ymmärtämään asioita raakaa taulukkotietoa nopeammin. (H2) Ainakin isoimmissa hankkeissa tehty visualisointi rungon asennuksesta on helpottanut asennustyötä. (H6) Työmaalla on visualisoitu tietomallista otettujen kuvakaappaus-ten kautta elementtiasennuksen etenemistä ja toteutumista. Kuvakaappauksissa on muun

muassa korostettu määrättyinä päivinä asennettavat elementit. (H5) Eräässä hankkeessa oli hyödynnetty vierekkäin olevaa aikataulua ja tietomallinäkyä, josta näkyi kuinka perustukset ja elementit asennetaan. Näistä tietomallinäkyistä oli otettu kuvakaappauksia dia-esitykseen, jotka taas lähetettiin vastaavalle. (H3)

”Hankekehityksessä on hyviä visuaalisia esityksiä. Niissä on paljon pohjakuvia ja ne on tehty asiakkaalle. Pitäisi ottaa joku kadunmies tuosta ja silloin kun se ymmärtää sen, niin se on oikealla tasolla.” - H3, Laskenta

Perustustyöt vaatisivat maanrakennustöiden 4D-visualisoinnin rinnalleen, jotta urakoitsijoiden kautta tulleet ideat ja ammattitaito tulisivat paremmin esille ja yhteistyö paranisi. Visualisoinnilla voitaisiin korostaa maaperän massoja, maanpohjaa, perustuksia ja korkeeroja. (H7) (H8) Parhaimmillaan voidaan helpommin tunnistaa järkevimmät tuotantoon liittyvät ratkaisut ja riskitekijät maanrakennusvaiheessa. (H7)

Hankinnat olisi hyvä visualisoida suhteessa rakennusmassaan, joka voisi ilmetä tietomallin kautta. Lisäksi kustannuksien painottuminen ja kertyminen rakennusmassan suhteen auttaa saamaan näkyväksi oleellisia asioita ja edesauttaa suunnittelutyötä. (H3) (H4) (H7) Hankinnassa voitaisiin käyttää visualisointia hyödyksi merkitsemällä tietomalliin, mitkä elementit ovat jo hankittuina, tai mikä on kunkin elementin tilanne hankinnan kanalta. Tätä voitaisiin edelleen havainnollistaa väreillä esimerkiksi niin, että vielä hankkimatta olevat osat korostetaan esimerkiksi punaisella värillä. (H7) (H8)

Talotekniikka on rahallisesti merkittävä rakennuksen kustannuserä etenkin asuntokoh-teissa ja se on myös tahdistava aikataulun vaihe. Talotekniikan ajallinen visualisointi aut-taisi suunnittelemaan työjärjestystä etenkin ahtaissa paikoissa ja vesikatton asennustöissä. Lisäksi sen avulla saadaan tarkemmin ohjattua työmaan työskentelyä. Käytännössä aika-taulu viedään lopulta asentajalle asti, jolloin työmaan toimihenkilöt käyvät yhteistyössä urakoitsijan kanssa aikataulun läpi ja samalla varmistavat asennustöiden onnistumisen. (H8)

Aluesuunnittelussa ja logistiikassa 3D-suunnitelmien avulla pystytään päättämään korkeuserot huomioiden nosturien, purkualueiden, varastoalueiden ja elementtitelineiden parhaimmat sijainnit sekä muut työmaan tilavaraukset. (H1) (H6) (H7) Visualisointi näyttää myös ulkopuolisille toimijoille yleensä hyvältä, jonka seurauksena yritys voi myös saada parempia työtarjouksia. (H8)

*”No tietysti logistiikkasuunnitelmat. Tällaiset missä on nosturit, minne nostetaan tava-
raa, varastoalueet, työmaasuunnitelmat, ynnä muut. Kyllähän tuo visualisointi niissä
auttaisi.” – H6, Projektipäällikkö*



Kuva 29: Tuloksia tulkitseva kuvaaja erilaisten aikataulua kuvaavien keinojen sijoittumisessa 3D:n käyttö ja informaation käytettävyys -kentälle.



Kuva 30: Käyttötapaukset, joissa visuaalisuutta ja 3D-esityksiä hyödyntävistä aikatauluista olisi hyötyä.

5.2.2 3D-työkalujen käyttämisen haasteet

Kaikkien haastateltavien mielestä ohjelmistoja, tietomalleja sekä uutta tietoa ei vielä osata käyttää ja hyödyntää kunnolla. Ongelmana nähdään edelleen osaamisen ja koulutuksen puute. Toisaalta asiantuntijan tasolla olevaa osaamista ei jokaisella tarvitsekaan olla. Jos osaamista tarvitaan, tulisi siihen nimetä asiantuntija, joka hoitaa erikoisosaamista vaativaa tehtävää. (H5) Asiantuntijoiden kuormittamisen huonona puolena voi kuitenkin olla riittämättömät resurssit. Tällöin asiantuntijaosaamista vaativa toiminta voi muodostua helposti prosessin pullonkaulaksi. Prosessien työtehtävät tulisikin kehittää mahdollisimman yksinkertaisiksi, jotta haitallisia pullonkauloja ei synny. (H6) Asiantuntijoiden tulisi lisäksi esitellä paremmin 3D:n ja visualisoinnin mahdollisuuksia tuotannon suunnitelmien käyttäjille. Uudet toimintatavat voivat herättää uusia ajatuksia ja ideoita käyttäjien keskuudessa. (H6)

”No haasteena on se, että vähän kaikki opetellaan niiden [ohjelmien] käyttöä. Tulee vähän uutta ja siinä menee aikaa. Vaikkapa se aluesuunnitelma on aika paljon nopeampi tussilla tehdä siihen printatun A3 piha- tai aluesuunnitelman päälle, kuin sitten alat sitten SketchUpilla sitä vääntämään. Tavallaan se ottaa vähä enempi aikaa.” – H6, Projektipäällikkö

Visualisointien ja 3D-ohjelmien tulisi olla helposti ymmärrettäviä, helppokäyttöisiä ja tämän ansiosta myös helppoja kouluttaa muille. Ohjelmissa tulisi olla valikot ja ominaisuudet helposti käytettävissä, eikä niitä tarvitsisi etsiä kansiodien ja monimutkaisten valikoiden takaa. (H2) (H3) (H7) Ohjelmien huonon käytettävyyden takia visualisointien tekemiseen menee vielä nykyään paljon aikaa. Helpommaksi tavaksi mielletään esimerkiksi suoraan printatun pohjapiirroksen päälle piirtäminen. (H6) (H1) Ohjelmat ja laitteisto eivät siis ole vielä tarpeeksi kehittyneitä helppoon ja nopeaan tietojen etsimiseen ja käyttämiseen. (H1)

Ongelmia voi tulla myös tietojen, kuten esimerkiksi kustannustiedon, siirtämisessä reaaliajassa 3D-mallin osille. Lisäksi näiden tietojen päivittäminen ei välttämättä ole kovin helppoa eikä etenkään automaattista. (H4) Aikataulutieto syötetään ohjelmaan kerran, mutta sen muuttaminen on työlästä, joten päivittämistä tehdään harvoin. Tiedon syöttäminen ja sen päivittäminen tulisi olla mahdollisimman helppoa. (H8) Aikataulutiedossa on yleensä myös riippuvuuksia aikataulutehtävien välillä ja tämän tiedon siirtämisessä voi tulla vastaan lisää ongelmia. (H4)

Yhteisten toimintatapojen puuttuminen on ongelmallista, mutta tällä hetkellä yhteisiin toimintatapoihin ollaan kohdeyhteyksessä askel kerrallaan siirtymässä. (H2) Ongelmana on nähty nykyinen tapa käyttää kustannustietomallia tuotannon mallinnuksessa. Työtä tehdään ensin kustannustietomallin pohjalta, minkä jälkeen siirrytään työskentelemään jossain vaiheessa suunnittelijan mallin kautta. Tällöin on ollut epäselvää, onko tuotannon suunnittelun tieto ajantasaisista ja miten sitä tulisi käyttää. (H8)

Taulukko 3: 3D-pohjaisten työkalujen käyttämisen haasteet.

| Ongelma / haaste |
|--|
| Ohjelmistoja ei osata käyttää. |
| Rakennushankkeen dataa / tietomallia ei osata hyödyntää. |
| Asiantuntijat ylikuormittuvat tietopyyntöjen runsauden takia. |
| Kustannustiedon siirtäminen 3D- tai 4D-malliin on koettu hankalaksi. |
| Tiedon päivittäminen visualisointia varten on ollut vaivalloista. |
| Yhteiset toimintatavat tiedon käyttöön puuttuvat. |

5.2.3 Nykyiset toimintatavat ja kehitysehdotukset

Kohdeyrityksessä on vastaavan työnjohtajan mielestä 3D-työkaluja jo nyt hyvin käytössä ja niitä on päästy käyttämään hieman pintaa syvemmalta. (H1) Laskennan mielestä epäselvästä taulukkomuotoisesta informaatiosta täytyisi päästä eroon, jonka jälkeen tulisi siirtyä tietomallin ja visualisointien käyttöön. (H3) 3D:n käyttö elementtiasennusaikataulun visualisoinnissa toimii jo nyt melko hyvin. Vielä täytyisi kuitenkin tutkia mahdollisuuksia sisävalmistusvaihe aikataulun visualisointiin, joka voi osoittautua haasteelliseksi. Sisävalmistusvaiheen 4D-aikataulutuksessa tietomalli tulisi pystyä pilkkomaan kerroksittain. Lisäksi seurantatietoa tulisi pystyä hallinnoimaan yksittäisten työtehtävien osalta tarkasti. (H2)

”Ollaan vähän jo päästy jo 3d:ssä pintaa syvemmälle ja meillä on käytössä kuitenkin nämä työkalut.” – H1, Vastaava työnjohtaja

Tietomallin käyttämisestä onkin ollut yleisesti paljon hyötyä jo nyt. Silti tulisi määrittellä entistä paremmin, mitä tietoa pääurakoitsija ja muut rakennushankkeen osapuolet haluavat tietomalliin. (H4) Visuaaliset esitykset tulisi kuitenkin pitää mahdollisimman yksinkertaisina, jotta suunnitelmat pysyvät ymmärrettävinä. Tähän mennessä on pärjätty paperisilla tuotannon suunnitelmilla. Toisaalta 3D:nä tuotannon suunnitelmien esittäminen auttaa tavallista työmiestäkin paremmin ymmärtämään suunnitelmia ja kertoo enemmän, kuin paperinen versio suunnitelmista. (H5)

Visualisointiin ja parempien tuotannon suunnitelmien tekemiseen tulisi jatkuvasti etsiä parempia työkaluja ja niitä tulisi jakaa muille. Uusien ideoiden ja työkalujen jakaminen voi herättää uusia ajatuksia ja antaa tietoa niiden hyödyllisyydestä. Tuotannon mallinnuksen tuotteiden tekemiseen tarkoitettuja työkaluja varten tulisi olla selkeät käyttötapauksien kautta neuvovat ohjeet. Lisäksi käytettävät työkalut tulisi olla ainoastaan hyväksi koettua ja hyvin tunnettua tekniikkaa. Tällöin tuotanto voi paremmin luottaa tuotannon mallinnuksen tuotteiden tietosisältöön. (H7)

Yksi tärkeä kehitysalue tiedon havainnollisen esittämisen kannalta on asennusjärjestyksen visualisointi. Jotta esimerkiksi toteumatietoa saadaan syötettyä tietomalliin, tulisi

muun muassa elementtitehtäiden kanssa tehdä yhteistyötä. Visualisointi ja sen tarkkuus tulee miettiä tapauskohtaisesti, jotta detaljitasoisen aikataulun tekemiseen annettu työpanos ei mene hukkaan. Tietomallipohjaisen aikataulun tekemisessä on hyvä aloittaa karkeammasta ja siirtyä sitä mukaa tarkempaan tietojen tarkentuessa. Hankinnan kannalta tulisi aikatauluttaa ainakin kaikista kriittisimmät rakennusosat ja etenkin ne, jotka tarvitsevat enemmän hankinta-aikaa. (H8)

”Omasta kokemuksesta voin sanoa, et jos se [aikataulun visualisointi] tosi tarkalle vietään, niin se vähän aikaa pysyy mukana, mutta heti kun tulee muutoksia ja muita, niin se tipahtaa ja sitten se unohdetaan parin viikon päästä kokonaan. Se pitää olla mahdollisimman yksinkertainen ja helppo toteuttaa.” – H8, Hankinta

Taulukko 4: 3D-pohjaisten työkalujen käyttämisen kehitysehdotukset ongelmittain haastattelujen pohjalta.

| Ongelma | Kehitysehdotukset |
|--|--|
| Ohjelmistoja tai tietomalleja ei osata käyttää, jonka seurauksena asiantuntijat ylikuormittuvat. | Koulutuksen lisääminen. |
| | Käyttöliittymien helppokäyttöisyyden parantaminen. |
| | Käytetään paremmin toimivia ja hyväksi koettuja ohjelmistoja. |
| | Ohjeistuksen tekeminen käyttötapausten kautta. |
| | Työkalut täytyy tuoda kaikkien saataville. |
| | Tuotannon mallinnuksen tuotteet täytyy esitellä ja niiden käyttö täytyy opastaa käyttäjille. |
| | Asiantuntijoiden resurssien järkevä hyödyntäminen. |
| Rakennushankkeen sisältämää dataa ei osata hyödyntää. | Oleellisen datan helppo saatavuus mahdollistetaan. |
| | Tiedon tarve tulee olla selkeästi sovittu. |
| Datan siirtäminen ja päivittäminen 3D- tai 4D-malliin on työlästä. | Visualisoinnin tarve on mietittävä tapauskohtaisesti. |
| | Visualisoinnit on pidettävä mahdollisimman yksinkertaisina. |
| Yhteiset toimintatavat tiedon käyttöön puuttuvat. | Yhtenäinen järjestelmä tiedon hallintaan. |
| Asennusjärjestys on hankala hahmottaa. | Asennusjärjestyksen visualisointi tehdään ainakin kriittisimpien rakennusosien osalta. |

5.2.4 Informaation tarve tuotannon suunnittelussa

Aikataulua tarkasteltaessa on tärkeää saada tietoa yksittäisistä työtehtävistä. Tuotannon mallintajan tulisi pitää huoli siitä, että jokainen työtehtävä on aikataulutettu, eikä oleellisia työtehtäviä puutu aikataulusta. Tehtäviin olisi hyvä liittää määrätietoa tehtävään liittyvistä osista, jotta tiedetään, minkä kokoluokan tehtävästä on todella kyse. (H7) (H8) Aikataulutieto tulisi olla selkeästi ja järjestelmällisesti esitetty, jotta tiedon hakemiseen ei kuluisi turhaan aikaa. (H7) Hankkeen alkuvaiheessa täytyisi vaatia tilaajalta lähtötietoaikataulu. Kyseinen aikataulu pitäisikin olla yhtenä tuotannon mallintajien tuotteiden lähtötietovaatimuksena. (H4)

”Jos mietitään aikataulua, niin yksi tietosisältö on ehdottomasti se, että näen ne tehtävät, mitä se tuotannon mallintaja on sinne laittanut. Ihan vaan luettelo tehtävistä. Ja se että jos itse joutuisin tekemään päässäni jonkun aikataulun, niin saattaisin unohtaa sieltä jonkun, esimerkiksi louhinnan, ja sitten saattaisin tehdä jonkun oleellisen virheen.” – H7, Työpäällikkö

Projektipäällikön työssä aikataulutieto on kaikista tärkeintä. Käytännössä suunnittelijalta tarvitaan vain tietynlaista tietoa tai informaatiota, mutta ei niinkään täysin valmiita suunnitelmia. Suunnitteluajataulussa tulisikin olla mieluiten vaatimuksia sille, minkälaista tietoa esimerkiksi tietomallista halutaan milläkin ajan hetkellä, eikä pelkästään vaatimuksia valmiille 2D-piirustuksille. (H6) (H4) Lopulta myös tuotannon mallinnuksen tuotoksien tietosisällön tarve riippuu hankkeen vaiheesta. (H3)

”Aikaisemminhan suunnitteluajataulussa me aikataulutimme niitä tuotoksia, niin sitten tuli jotain suunnitelmia, joissa pitää olla pihakuva valmis tällöin ja tällöin. Nythän me olemme sen aikataulun sisään rytmittäneet hankintoja palvelevaa suunnittelua erikseen niistä kuvista. Siellähän on paljo sitä tietoa ja mitä tietoa missäkin vaiheessa tuotetaan, ei niinkään suunnitelmia.” – H6, Projektipäällikkö

Työmaalla toimihenkilöiden työtä palvelee parhaiten tietynlaisten kokonaisuuksien neliömäärien saaminen. Neliöt esimerkiksi parketista tulisi pystyä saamaan määrätystä kohteesta ja kerroksesta. (H1) Ohjelmistojen laskemiin tuloksiin on joskus hankala luottaa ja kyseisen tiedon luotettavuuden varmentaminen ja käytettävyys edellyttävätkin yleensä merkittävää työpanosta. (H4) (H7) Viimeistään työmaalla tuotannon suunnitelmista olisi hyvä käydä ilmi työturvallisuuteen liittyvät asiat etenkin hankalimmista paikoista. (H2) (H5) Urakoitsijalle tulisi pystyä helposti viestimään rakennuksen lohkojako ja määrätieto, jotta urakoitsija pystyy arvioimaan realistiselta pohjalta resurssejaan. (H2) Tuotannon alkuvaiheen aikatauluihin haluttaisiin lisäksi tarkempaa sijainti-, määrä ja materiaalitietoa myös anturoista ja paikallavaluista. Lisäksi elementtityön erikoistuennat ja normaalia työllämmät elementtiasennukset tulisi olla tiedossa ja niiden asennus tulisi myös suunnitella huolellisesti ennen varsinaista asennustyötä. (H1) Vaikka elementtiasennuksen suunnittelu yleisesti osataankin jo tyydyttävästi, on talotekniikan asennusaikataulun suunnittelu hankalampaa. (H4)

Aikataulun toteumatietoa haluttaisiin hyödyntää aikataulujen seuraamisessa. Tätä mieltä olivat 5/8 haastateltavista. Syötetyn toteumatiedon pohjalta haluttaisiin näyttää muun muassa aliurakoitsijalle aikataulun tilannetietoa 3D-visualisointeja apuna käyttäen. 3D-esityksestä tulisi olla mahdollista määritellä näkyväksi aikaväli, joka kertoisi aikataulusta työtehtävän tai rakennusosan sijainnin ja valmistusasteen. Tätä toimintatapaa voitaisiin käyttää viikoittaisissa urakoitsijapalavereissa havainnollistamaan aikataulusta jälkeen jääneitä ja edellä olevia työtehtäviä sijainneittain. Lisäksi aikataulun toteumatiedon pohjalta olisi hyvä saada jopa automaattisesti hälytys, jos jokin työtehtävä on jäänyt jäl-

keen. (H4) Oikea-aikaisesta työn ohjauksesta olisi suuri hyöty työmaan lisäksi myös hankinnoissa. (H1) Toteumatietoon olisi lisäksi hyvä liittää myös kuvaukset aikataulun häiriöistä. Myös toteumatiedon pohjalta jalostettu jälkilaskentatieto voi olla hyödyllistä seuraavissa rakennushankkeissa. (H3) Toteumatietoa tulisikin saada aikataulun lisäksi suunnitteluratkaisuista, hankinnoista ja kustannuslaskennasta. (H6)

”Voidaan täräyttää se kuva urakoitsijapalaverissa esiin. Ja me voidaan myös poikkeamatkin tulevaisuudessa visualisoida sille urakoitsijalle, että hei, teillä on nyt tämän verran asennettu. Ja seuraavaksi, että missä meidän olisi pitänyt olla, ja näkyy vaikka elementit haaleana siinä tai jotain tällaista. Eli nähdään, paljonko oikeasti jäädään jälkeen tai ollaan edellä.” – H1, Vastaava työnohtaja

Kustannukset ovat tärkeitä tietoja vastaavan työnohtajan mielestä. (H5) Kustannustietoa olisi hyödyllistä saada tuotannon mallinnuksessa tehtäviin 4D-malleihin mukaan. Eri-laisten rakennusratkaisujen kustannuksia tulisi pystyä tarvittaessa vertailemaan esimerkiksi vaihtamalla hinnastosta haluttujen osien hintoja. Lisäksi myös kustannusten toteumatietoa tulisi pystyä syöttämään aikatauluun ja toteumatiedon pitäisi olla käytettävissä seuraavissa hankkeissa. (H6) Ennusteiden tulisi olla ajan tasalla, jotta ylimeneviin kustannuksiin voitaisiin vaikuttaa tai niihin voitaisiin varautua paremmin. (H2) Lisäksi kustannuksien ja aikataulun eri versioita tulisi pystytä vertaamaan kassavirtalaskelmissa. (H6)

Hankinnan informaation tarpeita tämänhetkinen tuotannon mallinnuksen prosessi tukee jo tyydyttävällä tasolla. Tuotoksista on saatu tarkempaa ja hyödyllistä informaatiota hankintaa varten. Elementtiasennusaikataulussa tulisi kuitenkin olla selkeästi selvillä viikkotasolla olevat elementtien määrät, tyypit, toimittajat ja riskitekijät. Tietojen perusteella voidaan edelleen antaa tietoa elementtien toimittajille, jotta elementtitehtaan tuotantokapasiteettia voidaan varata hyvissä ajoin riittävästi. (H8)

Tietomallinnetuissa aluesuunnitelmissa tulisi näkyä ainakin lohkojako, nosturien paikat, nosturien nostoetäisyydet ja materiaaliuormien purkupaikat. (H2) (H4) Aluesuunnitelmaa tulisi myös noudattaa, jotta työmaalla materiaalit pysyvät määrättyillä alueilla ja työmaa pysyy paremmin järjestyksessä. Varastoalueita voidaan myös lohkoittaa ja numeroita, jotta tietyntyyliset alueet saadaan tarkemmin paikannettua. Lisäksi työmaan sähköistyksen suunnittelu on ollut useasti ongelmana. Sähköistyksen tulee olla toimiva koko työmaan ajan, koska sähköputkia kaivetaan usein myös maan alle. Aluesuunnitelmien tekemisessä tulisi myös ottaa huomioon kaikki oleellimmat tuotantovaiheet. (H2)



Kuva 31: Teemahaastattelun tuloksissa esiintyneet informaation tarpeet tuotannon mallinnuksessa. Mitä isompi fonttikoko sanalla on, sitä useammin asian tarve esiintyy aineistossa. Kuvaajan taustalla oleva data perustuu tutkimustyön tulkittuihin ja analysoituihin tuloksiin ja on suuntaa antava.

5.2.5 Informaation käyttäminen ja järjestäminen

Rakennushankkeen tiedon ryhmittely pitäisi perustua suunnittelun, hankinnan, hankkeen vaiheen ja toteumatiedon keräämisen tietosisältövaatimuksiin nähden. Olisi hyvä saada esimerkiksi määrättyjen rakennusosien tiedot selkeästi jäsennettynä esille ilman käsin tehtävää tietojen järjestelyä. Edelleen näiden tietojen perusteella täytyisi pystyä tekemään vertailuja uusista ja paremmista rakennusratkaisuista. (H6) Tiedon syöttäminen ja käyttäminen tulisikin ohjeistaa yksiselitteisesti. Jos tieto täytyy syöttää useaan paikkaan ja jos se voidaan syöttää useammalla eri tavalla, on riskinä tiedon katoaminen tai vääristyminen. Joissain tilanteissa on kuitenkin pakko hyväksyä tiedon syöttäminen useaan kertaan eri paikkoihin. (H7)

Tietomalleista saadaan jo nyt laskettua nopeasti määriä, joita tarvitaan työmaalla. Määrät ja aikataulutieto pitäisi saada jaettua materiaaleittain, lohkoittain ja kerroksittain. (H2) (H4) (H8) Tieto tulisi olla taustalla luonnollisesti kokonaisuudessaan, mutta hakemalla tai suodattamalla saataisiin vain halutut tiedot näkyviin ja hyödynnettäväksi esimerkiksi tietokoneen näytölle. Tällaisella tavalla määriä tulisi saada vastaavan työnjohtajan mielestä muun muassa väliseinistä ja niiden levytyksestä. (H2)

Kohdeyityksessä käytettävän Solibri Model Checker -ohjelman kautta tulleet määrät tietomallista ovat valitettavan usein epäluotettavia. Luottamusta voitaisiin parantaa selkeämmällä laskentaprosessin kuvaamisella ja kunnollisen ohjeistuksen tekemisellä. Ohjelmistoihin tarvitaan lisäksi ohjeistusta tiedon suodatuksen tekemiseen liittyen. Lopulta tieto on aidosti hyödyllistä vain silloin, kun siihen pystytään täysin luottamaan. (H6)

Tiedon tarkoituksenmukaisen jaottelun kautta myös muutosten hallinta helpottuu. Tällöin pystytään näkemään, mihin määrä- tai aikataulutietoon on tullut muutoksia ja minäkalaisia muutokset ovat. Tietoa tulisi pystyä pilkkomaan asuntorakentamiskohteissa jopa huoneistotasolle, jotta töiden johtaminen helpottuu ja mestojen tyhjillään olo saadaan minimoitua. (H4)

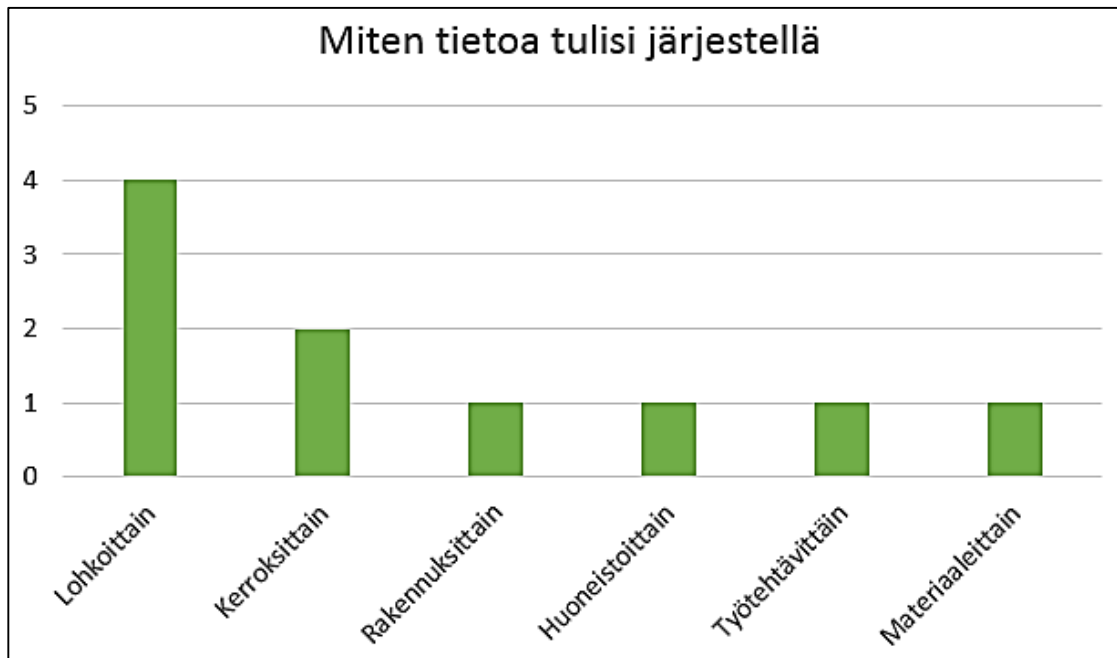
Ohjelmien ja tuotannon mallinnuksen tuotteiden käyttämisessä tulisi ottaa huomioon helppokäyttöisyys ja varmistaa, että esimerkiksi aikatauluun on tehty valmiiksi yleisimmin tarvittavat näkymät. Tällainen suodatus olisi mahdollista esimerkiksi helposti löydettävän alasvetovalikon kautta. Erilaisten näkymien kautta päästäisiin katsomaan esimerkiksi tarkemmin tilanteeseen nähden oleellisia työtehtäviä tai tarvittaessa karkeammalla tasolla olevaa yleisaikataulua. Valmiiden suodattimien ja näkymien luominen nopeuttaa ja sujuvoittaa keskustelua esimerkiksi aikataulun erilaisista piirteistä rakennushankkeen osapuolien kanssa. (H7)

”Yks suurimmista jutuista mistä pidän tässä Vico Officeessa, on että kun tästä painaa, niin tippuu tällainen alasvetovalikko, jonka alle voidaan luoda alasvetovalikkoja, ja pystyn tekemään tästä loogisen. Jos haluan tutkia tahti kuutosta viitoskerroksesta, niin saan näkyviin heti viitoskerros, tahti kuusi. Ja sitten olen vielä laittanut tuohon, että mitä siihen kuuluu. Haluan takaisin yleisaikatauluun, menen tuosta. Nämä ovat kaikki saman aikataulun näkymiä. Voidaan rajata alueita ja visuaalisuutta.” – H7, Työpäällikkö

Tarkkuus yleisaikataulussa tuotannon suunnitteluvaiheessa on tarpeellista vain viikkotasolla. Toisaalta työn tekemiseen tarvittava aikataulutieto tulisi olla päivätasolla. Näistä kahdesta asiasta samaa mieltä olivat 6/8 haastateltavista. Tuotannon suunnitteluvaiheessa ei tarvitse olla vielä tarkkaa päiväkohtaista aikataulutietoa. (H2) (H3) Viikkotarkkuutta voidaan käyttää paikka-aikakaaviossa työtehtävien järjestyksen ja työn sujuvuuden tarkistamiseen. Aikataulutietoa tulisi pystyä suunnittelemaan sekä karkeammalla, että tarkemmalla tasolla. Tarkka aikataulu pitäisi pystyä palauttamaan takaisin karkealle tasolle tarpeen mukaan. (H6) Aikataulu tarkentuu tuotannon suunnitteluvaiheen ja rakentamisen

aikana päivätasolle. Tarkkuus riippuu kuitenkin lopulta siitä, missä vaiheessa hanketta aikataulutietoa tarvitaan. Viikkotasolla olevasta 4D-aikataulusta on ollut ennakkosuunnittelussa paljon apua, mutta sen tarkentamisesta elementtitasolle ei ole ollut vielä suurta hyötyä hankintapäällikön mielestä. (H8) Tiedon tarkkuuden vaatimus tulee lopulta tiedon käyttäjältä. (H3)

Hintatiedon saaminen yksittäisellä rakennusosalla ei ole laskennan mielestä oleellista tuotannon suunnitteluvaiheessa, jos muodostetaan kustannuksia tai hankintoja. Kustannustietoja ja hankintatietoja tulisi ennemminkin saada kokonaisuuksittain. (H3) Hankintojen alkuvaiheessa viikkotasoinen aikataulutieto auttaa jo hyvin paljon. Myös urakoitsijat käyttävät viikkotasolla olevaa aikataulutietoa. (H8)



Kuva 32: Tuotannon mallinnuksen tuotteiden tiedon järjestelyssä esille tulleet asiat järjestettynä esiintymistiheyden mukaan. Lohkot ja kerrokset ovat tärkeimmät ominaisuudet, joiden kautta tietoa tulisi pystyä järjestelemään.

Taulukko 5: Keinot tiedon käytön helpottamiseksi esiintymistiheyden mukaan järjestettynä.

| Frekvenssi | Miten tiedon saamista helpotetaan? |
|------------|---|
| 3 | Tiedon näkymät ja suodattimet tulisi olla valmiina tai helposti tehtävissä. |
| 2 | Ratkaisujen vertailu on oltava mahdollista. |
| 1 | Muutosten hallinta tulee olla helppoa. |

Taulukko 6: Informaation tarkkuus tuotannon mallinnuksen tuotteissa.

| Frekvenssi | Minkälainen tarkkuus informaatiolla tulee olla ja miksi? |
|------------|---|
| 6 | Viikkotasoinen tuotannon suunnittelussa |
| 6 | Päivätasoinen työmaalla ja tehtäväsuunnittelussa |
| 3 | Tulisi olla mahdollisuus vaihtaa karkeamman ja tarkemman aikataulun välillä |
| 2 | Tarkkuus riippuu hankkeen vaiheesta |
| 1 | Kustannukset kokonaisuuksittain |

Taulukko 7: Tuotannon mallinnuksessa tuotetun ja käsiteltävän tiedon ongelmat.

| Frekvenssi | Ongelmia informaation käsittelyssä |
|------------|--|
| 3 | Tieto on vieläkin epäluotettavaa. |
| 1 | Tiedon hakemiseen menee aikaa. |
| 1 | Tiedon käyttöä ei ole ohjeistettu. |
| 1 | Tietoa pystytään syöttämään useaan paikkaan usealla eri tavalla. |

5.2.6 Tuotannon suunnittelun epäselvät asiat

Haastatteluaineiston perusteella elementtiasennusaikataulu (H4), paikallavalut (H5) (H1), työjärjestyksen suunnittelu (H6) ja aikataulun kriittinen polku (H7) ovat jääneet tuotannon suunnittelussa epäselviksi. Näiden asioiden lisäksi myös tuotannon mallintajan rooli oli vielä epäselvä. (H7) Haastattelujen perusteella nykyisen prosessin (Liite 2) tuotannon mallinnuksen tuotoksissa korostui aikataulujen merkitys. Jokaiselle haastateltavalle ainakin omaan työnkuvaan kuuluva aikataulu on ollut tärkeä. Laskennan ja hankintapäällikön mielestä tuotannon mallintajien palvelutuotteet ovat jo nyt tyydyttävällä tasolla (H3) (H8).

Työjärjestys on hankala hahmottaa yleisaikataulusta ja projektiaikataulussa voi olla jopa satoja aikataulutehtäviä, joka tekevät aikataulun ymmärtämisestä hankalaa. Aikataulutietoa tulisikin pystyä muuttamaan tarkemman ja karkeamman aikataulusuunnittelun välillä (H6). Aikataulu tulisi tehdä aina oikealla tarkkuustasolla ja tarkemmalla tasolla silloin, kun halutaan välttyä karkeamman aikataulun tulkinnan varaisilta olettamuksilta (H6) (H7).

Elementtiasennusaikataulussa tulee ottaa huomioon elementtien pitkät toimitusajat ja toimitusaikojen vaikutus projektiaikatauluun. Tämän takia elementtiasennusaikataulu tulisikin suunnitella hyvissä ajoin, ettei yllätyksiä ilmaannu toteutusvaiheessa. (H4) Elementtiasennusaikataulussa ei aina kuvata tarpeeksi selkeästi työjärjestystä, joka ei ole aina ollut täysin selvää elementtiasentajalle. 3D visualisointeja ei vielä ole käytetty paljon, mutta tarkempaa elementtien asennusaikataulua suunniteltaessa tärkeä asia on tietää

miltä lohkolta asennustyö alkaa ja kuinka asennus etenee. (H7) Elementtiasennusaikataulussa tulisi olla selkeästi viikkotasolla elementtien määrät, tyypit, toimittajat ja riskitekijät selvillä. Tietojen perusteella voidaan antaa tietoa elementtien toimittajille, jotta tuotantokapasiteettia voidaan varata hyvissä ajoin tarpeeksi. Lisäksi 3D:nä tehtävän aikataulun hyvänä puolena on muiden työvaiheiden asennusjärjestysten havainnollistaminen, sekä mahdolliset lähtötiedot esimerkiksi aluesuunnittelua varten. (H8)

Paikallavalurakenteiden toteutus ei ole ollut aina selkeää vastaavien työnjohtajien mielestä. (H1) (H5) Työmaalla tuotannon alkuvaiheen aikatauluihin haluttaisiin tarkempaa sijainti-, määrä- ja materiaalitietoa anturoista ja paikallavaluista. Lisäksi elementtityön erikoistuennat ja normaalia työläämmät elementtiasennukset tulisi olla tiedossa ja ne tulisi suunnitella huolellisesti ennen varsinaista asennustyötä. (H1)

Jana-aikataulussa työtehtäviä niputetaan paljon yhteen selkeyden vuoksi, mutta työtehtävät venyvät tällöin pitkiksi janoiksi aikatauluun ja tulkinnanvaraisuus kasvaa. Tämän lisäksi jana-aikatauluista puuttuu tärkeä paikka-aikariippuvuus. (H7) Ammattimiehen tai urakoitsijan kanssa ei ole havaittu ongelmaa paikka-aikakaavion lukemisessa tai ymmärtämisessä (H1) mutta projektipäällikön mielestä asia oli kuitenkin päinvastoin. Aikataulua tulisi nimenomaan visualisoida entistäkin ymmärrettävämmiin, jotta ristiriidoilta ja väärinymmärryksiltä välttyttäisiin. (H6)

”Mitä visuaalisemman siitä [aikataulusta] saa, niin se auttaa hahmottamaan niitä rakentamisjärjestyksiä, ja että onko siinä jotain optimoitavaa. Suunnittelijat eivät ehkä ymmärrä niitä aikatauluja ja eikä esimerkiksi aliurakoitsijat. Joillekin se vinoviiva voi olla ihan ylivoimainen, mutta jos siitä on joku visualisointi jollakin tapaa, minkä lapsikin ymmärtää, niin kyllähän se auttaa. Ainakin se vähentää sitä epäselvyyttä ja ristiriitoja ja väärinymmärryksiä.” – H6, Projektipäällikkö

Aikataulussa olisi tärkeää visualisoida myös kriittinen polku. Kriittinen polku voi muuttua myöhästyneiden työtehtävien ansiosta, jonka takia kriittistä polkua tulisikin päivittää tarpeen tullessa vastaamaan nykytilannetta. Kriittisen polun visualisointia tulisi suosia myös siksi, että moni ei välttämättä ymmärrä, missä aikataulun kriittinen polku todella kulkee. Etenkin työpäälliköille ja työmaahenkilökunnalle kriittisen polun korostaminen on tärkeää. Siitä on työmaan tuotannon ohjauksen ja aikatauluttamisen lisäksi hyötyä myös hankintastrategian laatimisessa. Tärkeimpänä kriittisenä polkuna voidaan pitää hankkeen valmistumiseen johtavaa polkua, mutta hankkeen sisällä voi olla myös muita kriittisiä polkuja. (H7)

Epäselväksi on jäänyt myös kohdeyrityksen tapa käyttää kustannustietomallia tuotannon suunnittelussa. Pääasiallisesti käytettävä tietomalli vaihdetaan kustannustietomallista suunnittelijan tekemään tarkempaan tietomalliin, kun sellainen on saatavilla. Tällöin ei

ole ollut selvää, kumman tietomallin tieto on ollut oikeaa ja relevanttia esimerkiksi hankinnan kannalta. Tiedot ovat täsmentyneet hankkeen aikana, mutta eri tarkkuustason omaavan tiedon käyttöön ei ole ollut systemaattista toimintatapaa. (H8)

”Meillä on oma kustannustietomalli ja sitten suunnittelu on käynnissä. Mikä tieto on mistäkin oikeaa ja relevanttia? Osa asioista perustuu siihen, kun tehdään se meidän kustannustietomalli, ja osa rupeaa perustumaan niihin oikeisiin suunnitelmiin. Miten näiden kahden ero hoidetaan? Miten se ero saadaan hoidettua sopimusten ja myöhemmin varmistettua, että ne sopimukset mitkä on tehty, täsmäävät sen todellisuuden kanssa?” – H8, Työpäällikkö



Kuva 33: Epäselviksi jääneet asiat tuotannon suunnittelussa haastattelujen perusteella.

5.2.7 Visuaalinen johtaminen ja viestintä

Tuotannon mallinnuksen tuotoksien tieto tulisi saada näkyvämmäksi, jotta tiedon avulla johtaminen helpottuu. Tuotannon mallinnuksen tieto on vielä pääosin numeroina ja tekstinä hajallaan olevissa dokumenteissa, jolloin kokonaiskuvaa ei hahmoteta tarpeeksi hyvin ja oleellista tietoa ei saada näkyviin. Tuotannon suunnitelmissa tulisi käydä ilmi myös ylemmän tason suunnitelmat ja prosessit, johon kukin suunnitelma liittyy. Tällä tavoin ymmärrettäisiin paremmin, miten valittuun ratkaisuun on päädytty. (H3)

Tuotannon mallintajat kokoavat aikatauluja projektiaikatauluksi, jossa muun muassa suunnittelu- ja yleisaikataulu ovat synkronoitu. Hankintojen aikataulu on kuitenkin vielä taulukkomuotoista tietoa, joka täytyy lisäksi syöttää käsin tuotannon mallintajan toimesta. Tällöin on riskinä tiedon häviäminen tai vääristyminen. Samalla tehdään myös päällekkäistä työtä turhaan, minkä lisäksi aikataulut ovat työläitä pitää synkronoituna. Hankinnan aikataulutieto tulisi saada automaattisesti tuotannon mallintajien projektiaika-

tauluun siten, että muutosten tekeminen olisi vaivattomampaa ja uusi tieto saadaan mahdollisimman ajoissa käyttöön. (H6) Yleisaikataulua tehdessä on tärkeää antaa rakennushankkeen toimijoille mahdollisuus vaikuttaa aikatauluun omalta osaltaan ja olla mukana prosessissa oikeaan aikaan. (H7)

Jos värejä käytettäisiin aina samalla tavalla, voitaisiin niiden perusteella päätellä nopeasti, missä vaiheessa aikataulu on. (H4) Projektipäällikön ja työpäällikön mielestä vakiointi on hyvä tapa etenkin, jos joku asia tai esimerkiksi työvaihe toistuu jokaisessa projektissa. Värien vakioinnilla saadaan tietomallien visualisointi samanlaiseksi ja suunnitelmiin päästään entistä nopeammin tutustumaan. (H6) (H7) Suunnitelmissa ja visualisoinneissa tulisi käyttää samanlaisia merkkejä ja värejä, jotta oleellisen tiedon löytäminen suunnitelmista nopeutuu. (H7) Värejä tulisi käyttää korostamaan haluttuja rakennusosia tietomalleista esimerkiksi määrälaskennan aikana. (H2)

Viestiminen suunnittelijoiden ja muiden rakennushankkeen osapuolten kanssa ei ole vielä kunnossa ja informaatiota katoaa matkan varrella. (H3) Tilaaajalta on saatu puutteellisia lähtötietoja, tai ne ovat tulleet tuotannon suunnitteluvaiheeseen liian myöhään, jolloin niiden huomioon ottaminen on ollut hankalaa (H4). Aikataulutieto ja lohkojako tulisi pystyä jakamaan suunnittelijoille jo hyvin varhaisessa vaiheessa, jotta asennusjärjestys on mahdollista suunnitella järkevästi tuotantoa varten. (H2)

Tietomallien kautta tehtävään visualisointiin tulee panostaa, jotta aikatauluun vaikuttavat sijainnit, kuten lohkot ja kerrokset, saadaan selkeästi esiin. Tuotannon mallinnuksen tuotteiden tulisi olla läpinäkyviä ja tätä kautta myös asioista viestiminen parantuu. Tuotteita tulisi esitellä tuotteiden käyttäjille ja niiden tulisi olla lähtökohtaisestikin helposti käytettävissä. (H2) (H3) (H6) Ihmiset tulisi myös saada mukaan käyttämään ja innostumaan tuotannon mallinnuksen tuotteiden käytöstä. (H2) (H6) Nykyään tuotokset hukkuvat helposti tiedostojärjestelmien sokkeloihin kansiorakenteisiin. (H2) (H3) (H6)

Tuotannon mallinnuksen tuotosten lukemiseen ja hyödyntämiseen tarvittaisiin yhtenäinen järjestelmä, jotta päästäisiin pois taulukko-ohjelmalla erikseen tehdyistä suunnitelmista. Aikatauluohjelmaan saadaan jo nykyään tehtyä yleis-, hankinta- ja suunnitteluai-
kataulu vierekkäin. Ohjelmasta ei silti saada välttämättä juuri oikeaa tietoa tuotua käyttäjälle tarpeen vaatiessa. (H4)

*”Eihän meillä ole olemassa sellaista ohjelmaa missä tämä kaikki tieto kulkisi läpi. Sit-
ten me tehdään Exceliä joka hommasta. Tosin nykyään sitten yleisaikataulu, hankinta-
aikataulu ja suunnitteluai-
kataulu on saatu siihen ohjelmaan, mutta siinäkin on vielä
omat puutteensa.” – H4, Työpäällikkö*

Tiedonkulku työmaalla ei ole ollut toivotulla tasolla. Vastaavan työnohtajan on tiedet-
tävä jatkuvasti, mikä työmaan tilanne on. Tämän takia aikataulut tulisi tehdä tuotannon
mallintajien kanssa tiiviissä yhteistyössä, jotta myös aikataulun lopullinen käyttäjä ym-
märtää aikataulussa tehtyjen ratkaisujen syyt. Esimerkiksi hankintoja tehtäessä on ollut

hyötyä, kun työmaalla myös hankinnoista vastaavat toimihenkilöt ovat olleet lähistöllä. Erityisesti betonielementtien hankinnan tilanne on arvokasta tietoa. (H5) Työmaalle olisi lisäksi hyödyllistä saada esimerkiksi helppokäyttöinen kosketusnäyttö ja käyttöliittymä työntekijöiden käyttöön, josta näkisi muun muassa työturvallisuuteen liittyviä tietoja ja muita työmaan dokumentteja sähköisessä muodossa. (H2)

Taulukko 8: Visuaalisen johtamisen ja viestinnän haasteet.

| Visuaalisen johtamisen ja viestinnän haasteet |
|--|
| Informaatio on vielä usein pelkästään numeroina ja tekstinä. |
| Informaatiota katoaa viestimisen aikana. |
| Tilaaajalta saadaan puutteellisia lähtötietoja. |
| Lohkojako tulisi jakaa suunnittelijoille jo varhaisessa vaiheessa. |

Taulukko 9: Visuaalisen johtamisen ja viestinnän keinot.

| Visuaalisen johtamisen ja viestinnän keinot |
|---|
| Kuvataan ylemmän tason prosessit, jotta kokonaiskuva rakentamisesta on selkeämpi. |
| Vakioituja värejä tulisi käyttää suunnitelmien havainnollistamisessa. |
| Tieto esitetään informatiivisemmassa muodossa. |
| Suunnitelmia ja tietoa jaetaan häviöttömästi. |
| Tietomallien kautta tehtäviä visualisointeja hyödynnetään. |
| Tuotannon mallinnuksen tuotteet ovat helposti löydettävissä ja näkyvillä. |
| Tuotannon mallinnuksen tuotteita esitellään tuotteiden käyttäjille. |
| Tuotannon mallintajat antavat opastusta tuotannon mallinnuksen tuotoksien käyttöön. |
| Käytetään yhtenäistä järjestelmää tiedon hallintaan ja kommunikointiin. |
| Ajan tasalla olevan projektiakataulun käyttäminen. |

5.2.8 Informaation hyödyntäminen jatkotyöskentelyssä

Rakentamisen valmistelussa tulleen tiedon tulisi olla vakiomuotoista, jotta tietoa voidaan käyttää myös seuraavia hankkeita suunniteltaessa. Esimerkiksi hankinta-aikataulun ja projektiakataulun tiedot tulisivat olla vakiomuotoisia myös muidenkin tietokenttien, kuin otsikon osalta. (H3) Kerätty data täytyy olla mahdollisimman yksinkertaisessa muodossa ja tietoa täytyisi pystyä muokkaamaan, jotta muutosten tekeminen on ylipäänsä mahdollista. (H4) Työmaalla kerättävän toteumatiedon ansiosta rakennustuotannon kehitys ja uusien hankkeiden nopea analysointi olisi mahdollista. (H3) Aikatauluohjelmaan tulisi pystyä syöttämään toteumatietoa siten, että esimerkiksi elementtien asennustilanteesta saataisiin helposti valmiiksi tehdyn näkymän kautta toteumatieto selville tarvittaessa. (H1)

Jotta aikataulutietoa pystyttäisiin muokkaamaan ja jalostamaan jatkossa, tulee aikataulutieto olla nimenomaan aikatauluohjelman tukemassa muodossa. (H6) Aikatauluun syötetään edelleen toteumatietoa työmaan toimihenkilöiden toimesta. Työpäällikön mukaan yleisaikataulusuunnitelmaa ja toteumaa tulisi valvoa esimerkiksi joka perjantai. Tämän toteumatiedon pohjalta pystytään edelleen tekemään jälkilaskentaa. (H7) Hankintapäällikön näkemyksen mukaan toteumatietoa tulisi syöttää ennalta määrättyyn paikkaan tietomallipohjaisen käyttöliittymän kautta. Tämän toteumatiedon pohjalta voidaan oppia ja sitä voidaan hyödyntää tulevaisuuden rakennushankkeissa. (H8)

”Siis jos teen aikataulun ja se menee seuraavalle osapuolelle, niin kyllähän se pitäisi olla aikataulutiedostona siinä softassa missä sitä käsitellään. Tavallaan että se tieto siitä lähtisi jalostumaan.” – H6, Projektipäällikkö

5.2.9 Kohti parempaa tuotannon suunnittelua

Tuotannon suunnitelmat tulee olla huolellisesti tehty sekä työmaan, hankinnan ja muiden osapuolien kannalta. Rakentamisen ongelmiin täytyy perehtyä, riskeille täytyy muodostaa torjuntatoimenpiteet ja aikataulu tulee pitää ajan tasalla. (H1) Rakentamisen valmistelun täytyy lopulta mahdollistaa laadukas ja taloudellisesti kannattava hanke. (H2) Tuotannon mallinnuksen tuotteet tulisi tehdä oikeaan aikaan hankkeen aikana, jotta koko hankkeen näkökulmasta prosessi olisi tehokas. (H3)

”Se on vähä niin kuin puoliksi tehty, kun meillä on hyvät suunnitelmat ja samalla saadaan maksimaallinen hyöty hankinnoissa, kun meillä on hyvät suunnitelmat ja ollaan perehdytty kaikkiin ongelmiin. Että jää sellainen sahausliike aikatauluista pois ja riskeille on omat torjuntatoimenpiteet.” - H1, Vastaava työnjohtaja

Tuotannon suunnitteluvaiheessa asiantuntijoiden on tärkeää olla proaktiivisia. Asiat ja ongelmakohdat täytyy tuoda selkeästi esiin tuotannon kanssa tekemisissä oleville toimihenkilöille. Jos tietynlaiseen ratkaisuun on päädytty, tulee olla selvillä ratkaisun juurisyyt, riskit ja erityistä huomioita vaativat asiat. Tarpeen vaatiessa myös prosessin aikana hylätyt ratkaisut tulee perustella. Tärkeää on selostaa mikä tuotannon suunnitelmassa on oleellista. (H7) Muita tärkeitä asioita tuotannon suunnittelussa ja rakentamisen valmistelussa on suunnitella ja kuvata rakentamisen valmistelun prosessi, aikataulun kriittinen polku, aikataulussa olevien tehtävien järjestys, lukkoon lyödyt asiat, työnjako ja sitoutuminen tavoitteisiin. (H4) (H5) Rakennuksen rungon asennus on eräs erittäin tärkeä ja kriittisellä polulla oleva vaihe. (H6)

Tuotannon mallintajien tulisi olla läsnä myös työmaalla ja ottaa selvää työmaan tilanteesta ja tuotannon suunnitelmien tasosta vastaavan työnjohtajan tai työmaainsinöörin kanssa. Työmaan yleisaikataulu tulisikin käydä vastaavan mestarin kanssa läpi siten, että molemmille osapuolille on selvää, mihin tieto aikataulussa perustuu. Tällöin aikataulusta

saadaan järkevä ja faktoihin perustuva kokonaisuus. Paikkaansa pitävällä aikataululla voidaan paremmin palvella myös hankintaa. (H8)

5.3 Työpajojen tulokset

Tässä tutkimuksen osassa käydään läpi keskeisimmät työpajojen kautta kerätyt tulokset. Lisäksi tässä osassa kuvataan tarkemmalla tasolla työpajojen suoritusta ja sisältöä. Työpajojen karkeampi suoritus on kuvattu tutkimuksen suoritus kappaleessa aikaisemmin. Työpajojen avulla saadaan tuloksia, jotka vastaavat tutkimuskysymykseen ” 4. *Mitä ovat tuotannon mallintajan palvelutuotteet, kun tuotannon mallinnus nähdään sisäisenä palveluntuottajana?*”

5.3.1 Työpaja 1: Tulevaisuuden visio ja ideat

Ensimmäistä työpajaa varten valmisteltiin Powerpoint-esitys, jota käytettiin työpajan esityslistana. Työpajassa käytiin seuraavat esityslistan asiat läpi:

- Virtuaalinen rakentaminen ja 5D
- Miksi virtuaalinen rakentaminen on tärkeää?
- Tuotannon mallinnuksen määrittely
- Tuotannon mallinnuksen tavoitteet
- Minkälaista kohdeyrityksen tuotannon mallinnus / virtuaalinen rakentaminen on 1 vuoden päästä? Mitä lähitulevaisuudelta odotetaan?
- Minkälaista kohdeyrityksen VDC/tuotannon mallinnus on 3-5 vuoden päästä? Mitä tulevaisuudelta odotetaan? Mikä on unelmatilanne?

Työpajan alussa keskusteltiin, mitä virtuaalinen rakentaminen ja tuotannon mallinnus todellisuudessa ovat. Mielenkiintoisena keskustelun aiheena oli virtuaalisen rakentamisen tärkeys. Virtuaalinen rakentaminen on tärkeää koska

- sen avulla on helppo kokeilla ja varioida rakennusratkaisuja, kun pääomaa on sidottu vasta vähän
- tiedonkulku paranee
- asioita tehdään näkyväksi suhteessa aikaan. Sen ansiosta väärinymmärrykset vähenevät, riippuvuudet havaitaan ja tieto saadaan havainnollisesti esille.

Kohdeyrityksen tuotannon mallinnuksen määritelmästä oltiin samaa mieltä. Määritelmää on täydennetty tarkemmalla määrittelyllä tutkimustyön edetessä, ja se on esitelty jo aikaisemmin tässä työssä. Tuotannon mallinnuksen tavoitteista keskusteltiin ja tärkeimmistä tavoitteista muodostettiin lyhyt lista. Tuotannon mallinnuksen tavoitteena on

- mahdollistaa optimaalisen rakennustavan valinta
- varmistaa häiriötön tuotanto

Taulukko 10: Tuotannon mallinnuksen visiot 1 vuoden päähän toimenpiteineen.

| Visio | Toimenpide 1. | Toimenpide 2. |
|---|---|---|
| Rakentaminen on optimoitua ja häiriötöntä. | Sovelletaan Lean-filosofiaa ja valitaan tehokkain tapa toteuttaa vertailemalla tuotantotapoja. | Häiriöt näkyväksi ja etenkin kriittisen polun häiriötekijät tulee saada selville. |
| Aikataulun seuranta pitää olla mahdollista työmaalla. | Työvaihe aikataulu on tehtävä ajantasaisten tietojen perusteella. | Valitaan pilottityömaa, jossa aikataulun seurantaan tarkoitettavat työkalut koulutetaan henkilöstölle. |
| Tuotannon suunnittelun työpanoksen tulee todella näkyä rakentamisvaiheessa. | Tuotannon mallintaja auttaa työmaata tekemään esimerkiksi työvaihe aikataulun. | |
| Logistiikka suunnitellaan tarkemmin 3D:nä. | | |
| Aliurakoitsijoiden asioista täytyy olla tietoinen ja työtä tulee pystyä sovittamaan puolin ja toisin. | Yhteistyötä aliurakoitsijoiden ja muiden hankkeen osapuolien kanssa on parannettava. | |
| Tietomallin 3D-objektien kautta muodostetaan linkki muuhun tietoon. | Tietojärjestelmien välille muodostetaan linkki. Rakennushankkeen datalle valitaan yhteinen projekti-pankki. | Tietomallit ja muu tieto tulee olla systemaattista ja tiedon hallintaa tulee parantaa. |
| Käytettävä tietojärjestelmä tulee olla roolipohjainen. | Järjestelmä ja tieto tulee olla kaikkien käytettävissä ja tiedon jakaminen on nopeaa ja helppoa. | |
| Seurantadata on käytettävissä ja siihen voidaan verrata tehtyjä suunnitelmia. | Mahdollistetaan seurantadatan huolellinen kerääminen ja järjestelmällinen arkistointi. | Mahdollistetaan datan päivittäminen ja käyttöönotto uusissa hankkeissa. |
| Mekaaniset rutiinityötehtävät automatisoidaan. | Tietomallissa tiedon tulee olla koneluettavassa muodossa. | Lähtötiedot tulee määrittää, tiedon formaatti täytyy päättää ja päätetyistä asioista tulee tiedottaa suunnittelijoille. |
| Asetetaan konkreettisia tavoitteita virtuaaliselle rakentamiselle. | Mittaristo täytyy määrittää ja tavoitteet tulee asettaa ajallisesti. | |
| Kustannukset tulee olla näkyvissä. | | |

5.3.2 Työpaja 2: Tuotannon mallinnuksen mahdollisuudet

Toisen työpajan tarkoituksena oli käydä läpi diplomityön tuloksia ja samalla kartoittaa tuotannon mallintajien varsinaista toimintaa ja mahdollisuuksia. Työpajaa varten valmistettiin Powerpoint-esitys, jota käytettiin työpajan esityslistana. Työpajaan osallistui tutkijan lisäksi lopulta vain kaksi kolmesta tuotannon mallintajasta. Tästä huolimatta työpajassa käytiin paljon keskustelua ja työpajan asioita jäi vielä kesken noin kahden ja puolen tunnin tapaamisen jälkeenkin. Työpajan jäljelle jääneet asiat käytiin läpi erikseen järjestetyssä etäneuvottelussa. Työpajassa käytiin esityslistan asiat läpi, jotka olivat

- diplomityön kirjallisuuskatsauksen, haastattelututkimuksen ja ensimmäisen työpajan tuloksien läpikäyminen ja palaute tuloksista,
- tuotannon suunnitteluun käytettävien ohjelmistojen vertailu ja
- Solibri Model Checkerin avulla tehtävän 4D-visualisoinnin prosessi

Työpajan ensimmäisessä osassa käytiin läpi diplomityön tuloksia ja niistä käytiin keskustelua. Tuloksien esittämiseen ja diplomityön asioihin tuli hyvää palautetta ja tulosten esittämistä ja diplomityötä pystyttiin korjaamaan ja ohjaamaan palautteen perusteella. Varsinaiset työpajan tulokset saatiin kuitenkin vertailtaessa rakennusprojektin hallintaan tarkoitettuja ohjelmistoja. Jotta tuotannon mallinnuksen mahdollisuuksia saatiin selville, listattiin ohjelmistojen ominaisuuksia ja vertailtiin niitä keskenään. Ohjelmistoja olivat Tocoman Tuotannon Suunnittelu, Vico Office ja Rib iTwo -ohjelmistot. Tocomanin ratkaisuihin kuuluvat myös aikataulutusta ja tietomallipohjainen määrälaskentapuoli, joiden ominaisuuksia otettiin myös huomioon vertailussa. Kaikilla ohjelmistokokonaisuuksilla pystytään tekemään muun muassa määrälaskentaa, kustannuslaskentaa, tuotannon suunnittelua ja aikataulutusta. Ohjelmistojen vertailussa on keskitytty lopulta tuotannon suunnitteluun ja aikataulukseen. Ohjelmistot tukevat tietomallipohjaista määrälaskentaa, mutta vain Vico Officessa ja Rib iTwo -ohjelmistoissa on mahdollisuus myös 4D- ja 5D-suunnitteluun. Vertailussa otettiin tarkemmin kantaa diplomityön tekijän valitsemiin ominaisuuksiin, jotka perustuivat Vico Officen testauksen pohjalta. Tämän takia listatut ominaisuudet löytyvät Vico Officesta miltei poikkeuksetta ja luultavasti kaikkia ominaisuuksia muista ohjelmista ei ole otettu huomioon. Listaus tehtiin kuitenkin Vico Officen testauksen pohjalta, koska ohjelmisto vaikutti käytettävissä olevista ohjelmistoista tällä hetkellä monipuolisimmalta.

Varsinainen ohjelmistojen välinen paremmuusvertailu ei ole kuitenkaan tämän osion päämäärä, vaan ohjelmistojen mahdollisuuksien kartoitus. Vertailu oli kuitenkin tehty, jotta saatiin kartoitettua ohjelmistojen ominaisuuksia ja saatiin selville ohjelmistojen eroja. Kartoitetut ominaisuudet kuvaavat käytännön mahdollisuuksia tässä vaiheessa ja mahdollisesti siirryttäessä muiden työkalujen käyttöön. Lista ohjelmistojen ominaisuuksista ja niiden toimivuudesta on koottu Taulukko 11: Ohjelmistojen toiminnot virtuaalisen ra-

kentämisen mukaisen tuotannon mallinnuksen kannalta. Ominaisuuksia on verrattu yhtiön tämänhetkiseen ohjelmistoratkaisuun. Taulukossa on lihavoituna ominaisuudet, joita nykyinen ohjelmisto ei tue tai tukee heikosti.

Taulukko 11: Ohjelmistojen toiminnot virtuaalisen rakentamisen mukaisen tuotannon mallinnuksen kannalta. Ominaisuuksia on verrattu yhtiön tämänhetkiseen ohjelmistoratkaisuun. Taulukossa on lihavoituna ominaisuudet, joita nykyinen ohjelmisto ei tue tai tukee heikosti.

| Ohjelmistojen toiminnot | Nykyinen ohjelmistoratkaisu tukee ominaisuutta |
|---|--|
| Työtehtävien listaaminen ja järjestely | X |
| Työvaiheikataulujen muodostaminen | X |
| Vaihtaminen karkeammasta aikataulusuunnittelusta tarkempaan | X |
| Paikka-aikakaavio | X |
| Tukee tietomallipohjaista määrä- ja kustannuslaskentaa | X |
| Tukee tietomallipohjaista tuotannon suunnittelua | |
| Aikataulun 4D-visualisointi | |
| Määriin perustuva aikataulu | X |
| Kassavirtalaskelma | X |
| Kriittisen polun visualisointi | X |
| Tietomallin päivitys ja linkitys työnkulussa eteenpäin | |
| Aikataulunäkymien ja -suodatusten teko ja visualisointi | X |
| Resurssien hallinta | X |
| Useamman tietomallin kanssa työskentely | X |
| Vaihtoehtojen vertailu | (vain kustannukset) |
| Kattavat raportointityökalut ja -pohjat | X |
| Toteumatiedon syöttäminen | X |
| Toteuman visualisointi | X |
| Toteumatietoon saadaan liitettyä häiriön syy | X |
| Helppo käyttöliittymä toteumatiedon nopeaan syöttöön työmaalla | |

Taulukko 12: Ohjelmistojen käytössä esiin tulleita haasteita, jotka vaativat tutkimusta ja mahdollisesti lisää ohjelmistokehitystä, jotta uudenlainen tuotannon mallinnus olisi mahdollista.

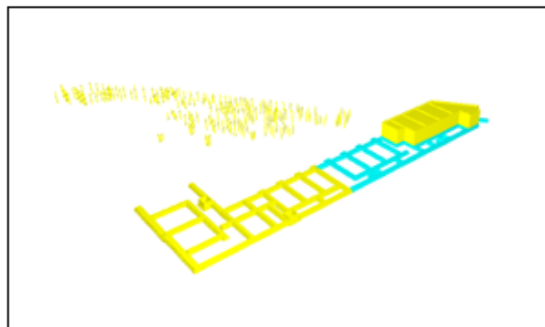
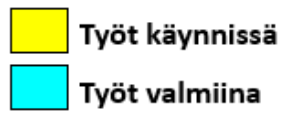
| Ohjelmistojen haasteet |
|--|
| Tiedon linkitys tietomallista tuotannon suunnitelmiin katkeaa aikataulutuksen tekemisen alkaessa nykyisen toimintatavan takia. |
| Toteuma- ja jälkilaskentatiedon hyödyntäminen tulevissa hankkeissa on työlästä. |
| Elementtiasennuksen tarkempaan kuvaamiseen aikataulussa ei ole yhteistä toimintatapaa. |
| Sijaintien suuri määrä ja niiden lisääminen jälkeinpäin aiheuttaa hankaluuksia. |
| 4D-visualisoinnin toimivuus ja sovellettavuus on vielä heikkoa. |
| Muutosten hallinnassa on parantamisen varaa. |

Monimutkaisten ja kokonaisvaltaisten ohjelmistojen käytettävyys on toisinaan heikkoa.

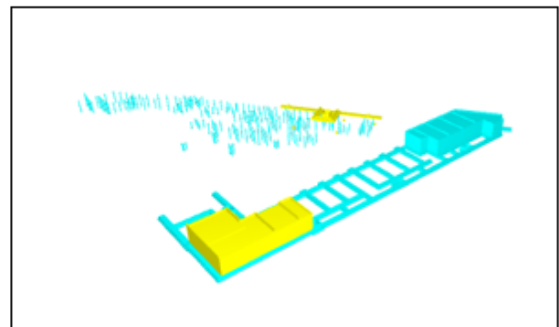
4D-visualisointi Solibri Model Checkerillä

Työpajan jälkeen järjestettävässä työpajan jatkopalaverissa käytiin läpi, kuinka Solibri Model Checker -ohjelmistolla voidaan visualisoida rakennuksen rungon asennusjärjestystä. Tocoman tuotannon suunnittelu -ohjelmisto ei mahdollista tietomallin käyttämistä työskentelyn visuaalisena apuna ollenkaan, eikä ohjelmistossa varsinaisesti ole 4D-suunnittelua tukevia toimintoja. Nykyisen toimintatavan takia Solibri Model Checkerin avulla paikataan Tocomanin 3D-visualisoinnin puutetta ja sillä pyritään esittämään Tocoman-ohjelmistolla tehtyjä aikatauluja tietomallin avulla. Rajapintojen ongelmat tekevät visualisoinnista monimutkaista ja aikaa vievää, mutta oikeanlaisen toimintatavan avulla karkean 4D-esityksen tekeminen on kuitenkin mahdollista.

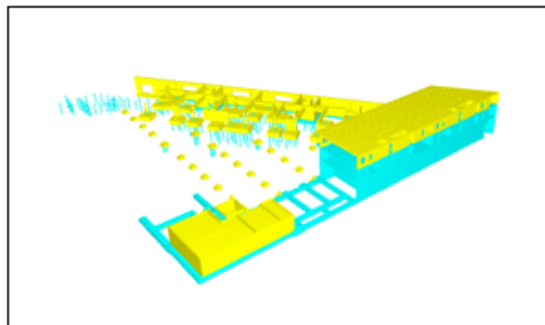
Elementtiasennusaikataulun visualisointia ei siis voida tehdä nykyisellä Tocoman tuotannon suunnittelu -ohjelmistolla. Ohjelmistosta saadaan kuitenkin tuotua tietoa, jota voidaan syöttää Solibri Model Checkerille luettavaksi. Tämän rajapinnan ansiosta aikataulun visualisointi tietomallin avulla onnistuu, kun visualisoinnissa käytettävälle tietomallille ja aikatauluohjelmistosta tuotavalle tiedolle annetaan oikeanlaiset tietosisältövaatimukset. Menetelmä vaatii paljon asiantuntemusta ohjelmistoista ja menetelmä on vielä monivaiheisen prosessin takia hidas toimintatapa 4D-visualisointiin. Menetelmää on kuitenkin testattu rakennushankkeen elementtien asennuksen visualisoinnissa, mutta varsinainen töiden alkamisen ja loppumisen yhdistävä visualisointi on vielä kehitysasteella. Kohdeyrityksessä testattiin kyseistä visualisointia kuitenkin onnistuneesti, vaikkakin visualisoinnin tekeminen on työlästä ja päivittäminen raskasta. Kuva 35: Kuvassa on koottuna esimerkkipäivämäärien kautta otettuja kuvakaappauksia Solibri Model Checker -ohjelman 3D-ikkunasta. Päivämäärä ja selitteet on lisätty jälkeinpäin kuvaan. Nähdään kuvakaappauksia 4D-aikataulun visualisoinnista. 4D-visualisoinnin tekeminen Solibri Model Checkerin avulla on kuvattu prosessikaavion avulla liitteessä 4. Visualisointi näyttää määritettyjen sijaintien tarkkuudella rakennusosien aikataulun. Tällöin jokaiselle yksittäiselle tietomallin rakennusosalle ei ole määritetty tarkkaa asennuspäivämäärää.



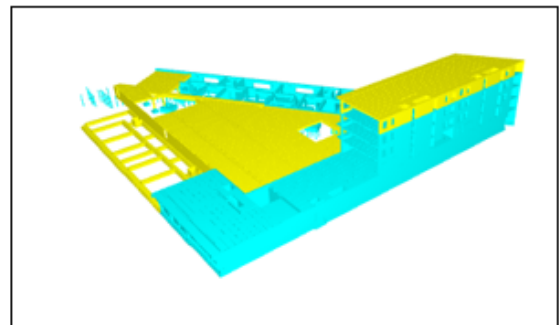
13.4.2016



30.5.2016



20.6.2016



20.7.2016

***Kuva 35:** Kuvassa on koottuna esimerkkipäivämäärien kautta otettuja kuvakaappauksia Solibri Model Checker -ohjelman 3D-ikkunasta. Päivämäärä ja selitteet on lisätty jälkeempään kuvaan.*

6. TULOSTEN TARKASTELU JA ANALYYSI

Tässä tutkimuksen osassa tarkastellaan ja analysoidaan teemahaastattelujen ja työpajojen tuloksia kirjallisuuskatsauksesta löydettyjen asioiden ja toimintamallien sekä tutkijan oman pohdinnan kautta. Aikaisemmin esitettyjen tulosten ja niiden yhteenvedojen avulla saadaan vastaus päätutkimuskysymykseen ”*1. Miten kohdeyrityksen nykyistä tuotannon mallinnuksen toimintatapaa tulee kehittää kohti virtuaalista rakentamista?*”, johon vastaamalla muodostetaan tuotannon mallintamisen uudet kehitystoimenpiteet seuraavassa pääluvussa tämän pääluvun perustelujen kautta.

6.1 Tuotannon aikataulupohjainen suunnittelu

Kohdeyrityksen nykyinen tuotannon mallinnuksen toimintamalli kuvaa erilaisia aikatauluja ja niiden laajuutta ja valmiusastetta eri vaiheissa rakennushanketta. (Liite 2) Uusia toimintatapoja käyttöönotettaessa tulee kuitenkin tunnistaa toimintatapojen ominaisuudet. Haastattelututkimuksen mukaan tuotannon suunnitteluvaiheessa tärkein tuotannon suunnittelun työkalu on aikataulu, mutta aikataulutusta voidaan kuitenkin tehdä useammalla eri tavalla ja tarkkuudella. (Kenley & Seppänen 2006) (Kunz & Fischer 2012) (Yassine et al. 2014) Haastattelututkimuksessa esiintyi tarve sijaintipohjaiselle määrä-, kustannus- ja hankintatiedolle tuotannon suunnitteluvaiheessa. Yksi ajan ja paikan yhdistävä ja hyvin tarkoitukseen sopiva menetelmä on sijaintipohjainen paikka-aikakaavio.

Haastatteluissa elementtiasennuksen toteutukseen liittyvä tieto koettiin tarpeelliseksi heti aikataulutiedon jälkeen. Elementtiasennus on aikataulun kriittisellä polulla, jolloin kyseisen työn riskit tulee tunnistaa ja niille tulee muodostaa toimenpiteet, ellei riskejä saada jo rakennesuunnittelussa kokonaan poistettua. Tämän ansiosta kriittinen polku tulisi kuvata ja riskien havaitseminen olla helppoa. Vaikka kriittinen polku on vanhentunut menetelmä sellaisenaan (Kenley & Seppänen 2006), voidaan se yhdistämällä sijaintipohjaiseen aikatauluun sekä kriittinen polku visualisoimalla saada selville kunkin työvaiheen ja lopulta koko projektin kriittisimmät työtehtävät. Tästä voi olla apua hankintojen priorisoinnissa ja aikataulun työtehtävien puskureita muodostettaessa, jotta hankintoihin käytetty työpanos jaetaan tehokkaasti ja aikataulu pitää. Tästä on yritykselle hyötyä rakennushankkeiden muun muassa parantuneena läpimenoaikana.

Jana-aikataulujen informatiivisuus tuotannon suunnittelussa on koettu heikoksi haastattelututkimusten perusteella, koska esimerkiksi projektiaikatauluissa pelkkä aikataulutehtävien määrä tekee kokonaisuuksien ja oleellisen aikataulutiedon hahmottamisen hankalaksi. Lisäksi yleisaikataulussa yleistyvä tapa jakaa työtehtävät sijainneittain lisää allekaisten aikataulutehtävien määrää sijaintien lukumäärän kertoimella. Tämä johtaa vaikealukuisiin aikatauluihin. Kirjallisuuskatsauksessa esitelty paikka-aikakaavio kokoa

työtehtävät ja sijainnit yhteen selkeämmin ja sen avulla huomataan myös päällekkäiset työtehtävät ja hukka-ajat helpommin. (Seppänen 2014) Haastattelututkimuksessa paikka-aikakaavio on tarpeeksi ymmärrettävä tuotannon suunnittelijoille, mutta kuitenkin yhden haastateltavan mielestä se voi olla hankalalukuinen työmaalla. Paikka-aikakaaviota pitäisi suosia joka tapauksessa, mutta työmaalle voitaisiin kehittää vielä intuitiivisempi aikataulun havainnollistamisesitys. Tästä hyvänä esimerkkinä voidaan mainita esimerkiksi 4D-aikataulu.

6.2 Tuotannon 4D- ja 5D-mallien tarkastelu

Vaikka aikatauluista saadaan sijainnit paremmin huomioon ottavia ja sen esittäviä esimerkiksi paikka-aikakaaviolla, koetaan työjärjestyksien hahmottaminen silti hankalaksi tai epäselväksi haastattelututkimuksen perusteella. Etenkin kriittisellä polulla oleva elementtiasennus on tärkeä tuotannon vaihe, joka tulisi olla selkeä työvaihe suunnittelijasta työmieheen asti. Kirjallisuuskatsauksessa esitelty 4D-mallit ja niiden kautta tehtävät havainnolliset ja nopeasti ymmärrettävät aikataulut ovat tehokas tapa viestiä aikataulutietoa kaikille rakennushankkeen osapuolille. (Kunz & Fischer 2012) Ne ovat myös työjärjestyksen analysointiin oiva työkalu ja kaikkien haastattelututkimuksen osallistujien mielestä 4D-mallin aikatauluesityksiä tulisi jakaa edelleen tilaajalle, suunnittelijoille ja aliurakoitsijoille. Lisäksi 6/8 haastattelijasta oli sitä mieltä, että rakennuksen betonielementtirungon aikataulun visualisointi selkeyttäisi merkittävästi asennusjärjestystä. Kirjallisuuskatsauksen mukaan 4D-malleja on jo käytetty aliurakoitsijoiden johtamiseen ja ohjaamiseen. (Fischer & John 2004) 4D-mallien avulla on saatu aikaan tehokkaampi asennusvaihe, jossa on säästytty sekä ylimääräiseltä varastoinnilta että yllätyksiltä. Yrityksen näkökulmasta tällä on positiivinen vaikutus arvontuottoon asiakkaalle, kun virheiden korjaamiseen kuluu vähemmän työpanosta.

Haastattelututkimuksessa tuli ilmi, että 4D-mallien aikatauluesityksiä on jo käytetty kohdeyrityksessä, mutta ne ovat olleet alkeellisia, työläitä tehdä ja niitä on käytetty vain kertaluontoisesti. Samaan johtopäätökseen voidaan päätyä tarkastelemalla kohdeyrityksen nykyisen Solibri Model Checkerin avulla tehtävää 4D-visualisoinnin prosessikaaviota (Liite 4). Jotta 4D-aikatauluista olisi todella hyötyä niiden tekemiseen nähden, tulisi ne olla helposti tehtävissä ja päivitettävissä. Kirjallisuuskatsauksen mukaan 4D-malleja voidaan käyttää tuotannon suunnittelun lisäksi nimenomaan työmaalla rakennustöiden ajalliseen tarkasteluun. (Popov et al. 2010) Tuotannon suunnitteluvaiheessa annettu työpanos 4D-mallien tekemiseen tulisi olla hyödynnettävissä siis myös työmaalla asti. Tämä vaatisi kuitenkin toimivamman prosessin tehdä aikataulun kuvaus 4D-mallin avulla.

Liitteessä 4 kuvattu visualisointimenetelmä on tarkoitettu vielä nykyään pelkästään kertaluontoiseen aikataulusuunnitelman visualisointiin. Solibri Model Checkerin ollessa lähinnä tietomallien tarkastelua, laaduntarkistusta ja satunnaista määrälaskentaa varten, on 4D-ominaisuudet kyseisellä ohjelmalla vielä vähäiset. Solibria ei ole tarkoitettu myöskään aikataulun seurantaan tai toteumatiedon syöttöön. Lisäksi aikataulutusuohjelmiston

puolella joudutaan lopulta pilkkomaan aikataulutehtäviä sijainneittain, jotta päivämäärät saadaan sijaintikohtaisesti selville. Tämän jälkeen ohjelmiston tulee pystyä viemään tieto aikataulusta prosessikuvaajassa määriteltyjen tietosisältövaatimusten mukaiseen excel-tiedostoon, jota joudutaan tarvittaessa edelleen muokkaamaan Solibriin tuomista varten käsin. Kokeneelta ohjelmistojen käyttäjältä visualisoinnin tekemisessä prosessikaavion mukaisella tavalla tehtäessä voi mennä noin 2-3 tuntia tai kauemmin. Työhön käytetty aika ei välttämättä ole suhteettoman pitkä, mutta huonosti yhteensopivien rajapintojen ansiosta visualisoinnin tekeminen sisältää vielä paljon virhelähteitä käsityötä vaativien vaiheiden takia ja sen päivittäminen on työlästä. Lisäksi visualisoinnissa käytetty tietomalli on kohdeyrityksen tuottama niin sanottu kustannustietomalli, jossa on määritelty jokaisen rakennusosan nimikkeen lisäksi lohko- ja kerrostieto. Kustannustietomalli on huomattavasti karkeammalla tasolla mallinnettu, kuin esimerkiksi tarkempi toteutussuunnitteluvaiheessa tehtävä rakennesuunnittelijan tietomalli. Toisaalta muiden tietomallien komponenttien tietokentät eivät välttämättä sisällä lohko tai kerrostietoa, joka yleensä löytyy kustannustietomallista. Johtopäätöksenä voidaan todeta, että 4D-visualisoinnin tekeminen vaatii saumattomasti toimivan rajapinnan aikataulu- ja tietomalli-ohjelmien välille, tai yhden yhtenäisen ohjelman, jossa 4D-aikataulun tekeminen on mahdollista ja järkevää.

Haastattelujen tuloksissa mainitaan myös, kuinka kustannuslaskenta voisi hyötyä 4D-mallista. Kirjallisuuskatsauksessa mainittu 5D-malli yhdistää ajan lisäksi kustannukset tietomallin rakennusosille ja aikataulutietoon, jolloin hankkeen taloudellisia vaikutuksia voidaan tarkastella esimerkiksi tiettynä ajanjaksona. Lisäksi toimintatapa mahdollistaa kustannusten seurannan ja ennustamisen. (Popov et al. 2010) Yksittäisen työntekijän näkökulmasta tietoisuus kustannusten määräytymisestä lisääntyy. Yrityksen näkökulmasta tällä voi olla työtä taloudellisesti ohjaava vaikutus ja alaskirjaukset voivat vähentyä. Käytännössä kustannukset voitaisiin myös liittää perinteiseen aikatauluun ilman yhteyttä tietomallin rakennusosiin, mutta tällöin tietomallin mahdollistama 3D-visualisointi ei anna nopeaa ja havainnollista kuvaa kustannusten jakautumisesta ja määräytymisestä paikan suhteen. Toisaalta voi olla tärkeämpää analysoida kustannusten ajallista jakautumista, mutta 3D-visualisoinnin perusteella voitaisiin kuitenkin huomata suurempien kustannuserien vaikutus tietyille rakennusosille paremmin, minkä perusteella voidaan pohtia kustannusten mielekkyyttä intuitiivisemmin. Tietojen yhdistäminen tietomalliin on siis hyödyllistä, koska ajattelua vaativa avaruudellinen hahmottaminen ulkoistetaan tietokoneen tehtäväksi ja laskettavaksi. Tällöin myös inhimillisen virheen riskin osuus pienenee, ja arvontuotto paranee.

6.3 Aluesuunnittelu ja logistiikka

Haastattelututkimuksen tulosten mukaan tietomallinnusta pystyttäisiin ja haluttaisiin hyödyntää monella eri tavalla jo nyt aluesuunnittelussa ja logistiikassa. Kirjallisuuskatsauk-

sen kautta löydettyjen esimerkkikohteiden tapauksessa aluesuunnitelmaa tehtiin 3D-mallien lisäksi myös 4D-malleilla, joten aluesuunnitelma oli tehty muuttuvaksi myös ajan suhteen. (Bortolini et al. 2015) (Skjelbred et al. 2015) Esimerkkikohteiden tapauksessa saatiin vähennettyä varastointia, parannettua yhteistyötä, sujuvoitettua materiaalivirtoja ja lisättyä prosessin tehokkuutta. Toisaalta kohteet ovat halli- ja toimistorakennuksia, jolloin menetelmän toimivuutta esimerkiksi asuntotuotannossa tulee pohtia tai toimintamallia tulee soveltaa. Esimerkkikohteiden 4D-aluesuunnittelun on kuitenkin todettu selkeyttävän työmaa-alueen käyttöä ja siitä viestimistä tarvittavien osapuolien kesken kyseessä olevissa esimerkkikohteissa. Hyödyt saattavat silti olla pienemmät asutokohteissa. Haastattelututkimuksessa erään työnjohtajan ja projektipäällikön mielestä on edelleen helpompi ja nopeampi piirtää aluesuunnitelma printatun aluepiirustuksen päälle. Tämä tekniikka onkin hyvä nopeaan ja kertaluontoiseen asioiden suunnitteluun. Toisaalta tällöin korkeussuuntainen ja ajallinen aluesuunnitelman arviointi hankaloituu. Modernit tietokoneet ja ohjelmistot kykenevät jo nyt tietomallipohjaiseen aluesuunnitteluun. Haastattelututkimuksen lisäksi myös työpajoissa visioitiin logistiikan suunnittelemista tietomallinnuksen avulla, mutta sen varsinaiseen käyttöönottoon ei tullut esille toimenpiteitä. Tietomallien käyttöä aluesuunnittelun ja logistiikan ajallisessa analysoimisessa tulisikin tutkia lisää.

Haastattelututkimuksissa on tullut esille myös ajatus siitä, että 4D-mallin avulla tehtyä elementtiasennusaikataulua voitaisiin käyttää lähtötietona aluesuunnitelmaa tehtäessä. Tällöin käytössä olisi ajantasainen informaatio rungon pystytyksestä, jolloin aluesuunnitelman tekemisessä pystytään arvioimaan tarkemmin rungon pystytyksestä aiheutuvaa työmaa-alueen käyttöä. Samankaltainen tapaus tuli vastaan myös kirjallisuuskatsauksessa esitetyssä kuvassa 8, jossa rungon asennuksen yhteydessä käytettävästä nosturista aiheutuu muutoksia viereisen rakennuksen toimintaan 4D-mallin visualisoinnin ansiosta. Logistiikan ja aluesuunnitelman 3D-suunnittelu tuli esiin myös ensimmäisen työpajan aikana visioitaessa tuotannon mallinnuksen ja virtuaalisen rakentamisen tulevaisuutta. Tulokset viittaavat tietomallinnetun aluesuunnitelman hyötyihin, jotka ovat sujuvampi työmaa-alueen käyttö ja mahdollisten riskien havaitseminen ajoissa. Tällöin aluesuunnittelun ja logistiikan tietomallipohjainen suunnittelu sujuvoittaisi tuotannon läpimenoa entisestään.

6.4 Tiedon tarpeellisuuden tarkastelu

Aikataulutieto

Haastattelututkimuksen tulosten mukaan aikataulutieto on tärkeässä asemassa tuotannon suunnittelussa. Aikataulutietoa voidaan kuitenkin tuottaa monessa eri muodossa ja monella eri tarkkuudella. Aikataulutieto voi olla suoraan linkitettyä määriin, rakennusosiin, kustannuslaskentariveihin tai yksinkertaisimmillaan se voi olla aikataulutehtävän nimi, johon on liitetty alku-, ja loppupäivämäärä. Aikaisemmin jo puhutun sijaintitiedon linki-

tys aikataulutietoon ja rakennusosille tuo aikataulutiedolle uusia analysointimahdollisuuksia. Aika-paikka riippuvuuksien ymmärtäminen rakentamisessa käy entistä tärkeämmäksi. Etenkin 4D-työkalujen käyttöönoton myötä aikataulutiedon merkitys korostuu entisestään. (Kenley & Seppänen 2006) (Kunz & Fischer 2012) Aikataulutiedon valmisteluun tulisikin käyttää entistä enemmän resursseja, jotta tuotannon analysointi, sujuvuus, ja tehokas ajankäyttö voidaan varmistaa.

Työn suunnittelu

Muut haastattelututkimuksen kautta saadut tiedon tarpeet tähtäävät jo hyvin pitkälti rakennustyön suorittamisessa tarvittavaan tietoon. Toisaalta tarkempaa työn suorittamista varten tarvittavaa tietoa voidaan tarvita jo tuotannon suunnitteluvaiheessa, jos tuotannon suunnittelu halutaan tehdä tarkemmin esimerkiksi työvaihe aikataulutasolle. Kyseinen tarkkuus tuodaan suunnitelmiin perinteisesti vasta työmaalla, mutta työmaan ensimmäisten työvaiheiden, kuten maanrakennuksen ja betonielementtiasennuksen vaihe aikataulu voitaisiin tehdä jo tuotannon suunnitteluvaiheessa, jotta työmaan aloittaminen on sujuvaa. Kirjallisuuskatsauksen esimerkkikohteissa ei käynyt ilmi, oliko suunnitelmat tehty vasta tuotannon aikana, vai jo ennen tuotantoa.

Häiriöiden tunnistaminen

Haastattelututkimuksen ja työpajojen tuloksien mukaan häiriöiden syyt tulisi kuvata toteumatiedon liitteenä, jotta yleisimmistä häiriöistä saadaan esimerkiksi tilastotietoa. Ongelmana saattaa etenkin alkuvaiheessa olla olematon toteumatiedon varasto. Riskianalyysin työkaluna 4D- ja 5D-mallit ja toteumatieto ovat kuitenkin vertaansa vailla. Aikataulun toteumatiedon ja suunnitellun perusteella voidaan tunnistaa tuotannon riskitekijät. Riskien hallinnan kannalta tärkeä tieto on myös häiriöiden ja niiden syiden kerääminen johdetusti. Toteumatietoon olisikin hyvä liittää tietoa häiriöistä, jotta häiriöiden juurisyyt tulevat esille. Juurisyytä poistamalla voidaan myös poistaa häiriöitä, jolloin riskeihin varautuminen vähenee. Tämä tarkoittaa myös pienempiä riskivaroja ja lopulta parempaa arvontuottoa. Häiriötön tuotanto varmistaa myös nopeamman läpimenoajan toteutumista.

Toteumatieto

Jo ensimmäisen työpajan aikana työmaalta saadun toteumatiedon tärkeys tuli esille. Toteumatiedon mahdollistama oppiminen on kuvattu virtuaalisen rakentamisen kanssa yhtenevän Lean projektin läpivientimenetelmän yhtenä osana. (Khanzode et al. 2006) Tätä kutsutaan niin sanotuksi oppimissilmikaksi, jossa opittu tieto, eli esimerkiksi toteumatieto, voidaan hyödyntää meneillään olevan hankkeen ohjaamisessa ja seuraavan hankkeen riskien tunnistamisessa. Haastattelututkimuksen mukaan informaatio tulisi olla jatkotyöskentelyä varten vakiohuutoista ja sellaisessa muodossa, jossa sen hyödyntäminen ja jalostaminen on mahdollista. Kirjallisuuskatsauksessa esille tuotu virtuaalisen rakentamisen yhtenäistämisen vaihe määrittelee, että tieto olisi yhtenäistä ja koneluettavaa. (Kunz & Fischer 2012) Toteumatiedon tulisikin täyttää kyseinen vaatimus siirryttäessä

kohti virtuaalista rakentamista. Jos toteumatieto saadaan käyttöön uudessa hankkeessa tehokkaasti hyödynnettävässä muodossa, voidaan uudessa hankkeessa tehdä nopeampia päätöksiä ja arvioida riskejä. Toteumatieto vaatiikin rinnalleen myös alkuperäisen tavoitetiedon, jotta oppiminen toteuman ja tavoitteen erojen analysoimisen kautta on mahdollista. Tuotannon mallinnuksessa tehtävät alustavat aikataulut voisivat hyötyä toteumatiedosta, koska tiedon perusteella voidaan tehdä valistuneempia arvioita uusien hankkeiden tuotannosta.

Tarpeellisen tiedon järjestelmällisyys eli tiedonhallinta

Työpajojen kautta saatiin hyviä näkemyksiä opitun tiedon käytännön tiedonhallinnasta. Jotta opittua tietoa pystytään ylipäänsä keräämään, tulee sen kerääminen olla huolellista ja järjestelmällistä. Opitun tiedon on luonnollisesti oltava käytössä seuraavissa hankkeissa ja tieto jalostuu edelleen ja päivittyy hankkeiden lukumäärän myötä. Arvontuotto toteumatiedon avulla saadaan vasta yhden tai useamman hankkeen läpiviennin jälkeen. Opitun tiedon ja tiedon käyttäminen tehokkaasti ylipäänsä vaatii toimivaa ja oikeanlaista tiedonhallintaa.

6.5 Tiedonhallinta

Haastattelututkimuksessa törmätiin monessa asiayhteydessä ongelmaan, jossa juuri taroitukseen sopivan tiedon hankkiminen on osoittautunut haastavaksi etenkin tuotannon suunnitteluvaiheessa, vaikka tieto käytännössä olisikin olemassa esimerkiksi tietomallissa. Juurisyynä onkin tiedon oikeanlainen luokittelu ja järjesteleminen. Jos tiedon järjestelyn niin sanottuna identifioivana toimijana pidetään rakennusosaa, tulee rakennusosalle antaa tarpeeksi attribuutteja oikeassa muodossa, jotta tietopyyntöihin voidaan vastata täsmällisesti ja luotettavasti. Kirjallisuuskatsauksessa samankaltainen ongelma on oikean ja relevantin tiedon suodattamisessa ja esittämisessä työmaalla. (Laine et al. 2014) Artikkelissa kuvataan konsepti, jolla tieto saadaan suodattamisen lisäksi myös helposti ymmärrettävään ja tiiviiseen muotoon työmaalle. Tietopyyntöihin vastaamisen lisäksi tiedon täytyisi tällöin olla myös sellaisessa visuaalisessa muodossa, jossa tiedon pyytäjä voi käyttää löydettyä tietoa tehokkaasti työssään. Vastaaminen onnistuneesti tietopyyntöön vaatii lopulta vähintäänkin tiedolle asetettavaa yksiselitteistä tietosisältövaatimusta ja tiedon syöttämistä vaatimusten mukaisesti. Jotta tieto pystytään syöttämään, tulee myös käytettävän järjestelmän olla helppokäyttöinen. Sama pätee myös tietopyynnön tekemiseen.

Tuotannon mallinnuksen tuotteille tulisi siis asettaa tietosisältövaatimukset, jotta tiedon eteen tehty työpanos säilyisi mahdollisimman hyvin ja tietoa pystyttäisiin hyödyntämään tehokkaammin tietotekniikan avulla. Oikealla tavalla järjestelty tieto on myös perusedellytys visuaalisten tiedon esitystapojen tehokkaalle käyttämiselle, koska visuaalisen esityksen pohjalla on aina joukko tietoa. Tiedot voivat olla lisäksi myös tietokantojen kautta linkitettyinä keskenään. Haastattelututkimuksessa 3/8 vastaajasta toi esille ajatuksen,

jonka mukaan tiedon näkymät ja suodatukset tulisi olla valmiina ja helposti käytettävissä ohjelmistoissa, jotta niitä ei tarvitsisi tehdä joka kerta uudelleen itse. Samaan tiedon järjestelyyn liittyvään ajatukseen kuuluu ehdotus siitä, että aikataulutietoa pitäisi pystyä niin sanotusti tarkentamaan ja yleistämään tarpeen mukaan. Tällöin nähtäisiin esimerkiksi aikataulun isompi kuva, mutta päästäisiin tarvittaessa tarkastelemaan yksittäisen työtehtävän työjärjestystä, tunnuslukuja ja edeltäviä sekä seuraavia työtehtäviä ilman muun epäoleellisen tiedon niin sanottua kohinaa. Tiedon etsimiseen käytetään tällöin vähemmän aikaa ja sen ymmärtäminen on nopeampaa. Tiedon jatkuvaan etsimiseen, uudelleenjärjestelyyn, muuntamiseen ja muihin tiedon käytön ongelmiin tulisi tietosisältövaatimusten lisäksi harkita järjestelmien yhtenäistämistä ja integrointia, jotta tietoa voidaan liikutella koneluettavassa muodossa ohjelmistosta toiseen vaivattomasti, häviöttömästi ja luotettavasti.

Kirjallisuuskatsauksessa esiin tulleen POP-mallin käytölle ei löydetty vastaavuutta teemahaastatteluista, ja siitä löydettiin kirjallisuuskatsauksen avulla lopulta vain vähän tietoa. POP-mallin käyttämisen hyötyjä tai ominaisuuksia kohdeyrityksen virtuaalisen rakentamisen tiedon yhtenäistämässä ja analysoinnissa ei voida todentaa tämän tutkimuksen avulla. POP-mallia ja sen ominaisuuksia tulisikin tutkia tarkemmin, jotta sen käyttöönottoa voitaisiin tarkastella luotettavammin. POP-mallia voitaisiin kuitenkin käyttää ajatusmallina jo nyt esimerkiksi analysoitaessa Big Room -toiminnan aikana esiin tulleita rakennusosia niiden fyysisen olemuksen, hankkeen organisaation ja käytettävien prosessien näkökulmasta.

6.6 Tietotekniikkaan liittyvä aineeton pääoma ja sen potentiaali

Haastattelututkimuksessa tietoteknistä osaamista, ohjelmien käyttöä ja ohjelmien käyttöliittymiä kuvattiin heikoksi. Tämän seurauksena myös rakennushankkeen sisältämää tietoa ja dataa ei osata eikä pystytä hyödyntämään tehokkaasti. Tiedon yhtenäinen käyttötapa, eli tiedonhallinta puuttuu, mikä tekee omalta osaltaan tiedon hyödyntämisestä työlästä ja jopa mahdotonta. Tästä seuraa haastattelututkimuksen perusteella tietotekniikkaa osaavien asiantuntijoiden ylikuormittuminen. Haastattelututkimuksen kautta saatiin onneksi myös hyvä lista kehitysehdotuksista, joiden avulla tietotekniikan osaamista, käytön helpottamista ja sen yhtenäistämistä tulisi viedä eteenpäin. Jo aikaisemmin puhuttu yhtenäinen, yksiselitteinen ja helppokäyttöinen käyttöliittymä tietoon ja sen syöttöön tulisi kehittää tai ottaa käyttöön sellaisen löytyessä. Kirjallisuuskatsauksen kautta kyseiseen ongelmaan ei pystytä POP-mallin käytön lisäksi ottamaan kantaa, mutta yhtenäinen tieto on kuitenkin yksi virtuaalisen rakentamisen keskeisimpiä ajatuksia. Virtuaalisen rakentamisen myötä tietoa kootaan yhtenäisempään ja läpinäkyvämpään muotoon tiedon käyttäjiä varten. Tästä olisi apua tietenkin myös tuotannon suunnittelussa, jossa monet asiantuntijat työskentelevät ja vaihtavat suuria määriä tietoa keskenään.

Toisessa työpajassa tehty ohjelmistojen vertailu osoittautui lopulta hyvin hankalaksi, koska eri ohjelmistojen käyttämiseen kulutettu aika vaihteli täysin laidasta laitaan. Tuloksien tarkastelussa tulee tällöin pitää mielessä hyvin rajoitettu testaukseen käytetty aika ja testaustiimi, joka oli käytännössä kolme tuotannon mallintajaa ja diplomityöntekijä. Tocomanin ohjelmisto on ollut yrityksessä käytössä jo pidemmän aikaa ja siihen on ehditty tottua ja sen ominaisuudet tunnetaan muita ohjelmia paremmin. Lisäksi kyseisen ohjelmiston ympärille on ehtinyt muodostua yrityksen omia prosesseja ja käytäntöjä, jotka eivät ole täysin yhteensopivia muiden ohjelmistojen toimintaperiaatteiden kanssa. Vico Officen testaamiseen käytettiin aikaa muutamia työpäiviä, mutta Rib iTWO -ohjelmistoa ei lopulta päästy käyttämään itsenäisesti ollenkaan. Ohjelmistosta pidettiin kuitenkin intensiivinen ja informatiivinen esittely kahtena päivänä, jossa tuotannon mallintajat pääsivät näkemään ohjelmiston toimintaa käytännössä. Nykyinen Tocomanin ohjelmisto ei kuitenkaan tulosten perusteella sovellu tuotannon mallinnuksen kehittämistoimenpiteisiin, jos toimintaa halutaan viedä kohti virtuaalista rakentamista. Uusia ohjelmistoratkaisuja ja tietotekniikka käyttöönottaessa tuleekin muistaa, että vanhojen toimintamallien muuttaminen voi olla raskas ja hankala prosessi. Tämä ilmenee myös kirjallisuuskatsauksessa mainituissa VDC:n käyttöönoton haasteissa, joista yksi oli nimenomaan kulttuurista ja asenteesta johtuvat esteet. (Kunz & Fischer 2012)

Jotta tietotekniikan käytön hyötyjen kautta syntyvät lupaukset voidaan täyttää, tulee yrityksen henkilöstöllä olla lähtökohdat ja motivaatio kouluttautua käyttämään uutta tietotekniikkaa. Tämä tarkoittaa panostamista henkilöstön koulutukseen ja investointeja toimiviin ohjelmistoihin. Tavoitteiden asettaminen myös henkilöstön osaamisen suhteen tulee ottaa vakavasti siirryttäessä käyttämään uusia toimintatapoja, jotta ohjelmistojen käyttöönotto onnistuu. Tietotekniikka ei saisi muodostua pullonkaulaksi toiminnassa, vaan sen tulisi nimenomaan sujuvoittaa etenkin rutiininomaista käsin tehtävää työtä ja antaa mahdollisuuksia tehdä luovia ratkaisuja, jotka eivät onnistuisi ilman tietotekniikan mahdollisuuksia.

Jotta työpajoissa ja kirjallisuuskatsauksessa esille tullut rakentamisen optimointi olisi mahdollista, tulee rakentamista pystyä analysoimaan erilaisten ratkaisujen vertailemisen kautta. Haastattelututkimuksen perusteella tuotannon suunnittelussa tuotetun tiedon hyödyntämiseen tarvitaan kuitenkin vielä hyvin paljon ihmisen tulkintaa. Tieto saattaa olla digitaalisessa muodossa, mutta se ei silti ole koneluettavaa. Kirjallisuuskatsauksessa eräänä virtuaalisen rakentamisen vaiheena on yhtenäistää tieto koneluettavaan muotoon. Kyseinen tiedon yhtenäistäminen voidaan mieltää edelleen oikeanlaiseksi tiedonhallinnaksi, jonka ansiosta analyysien tekeminen ja tiedon tulkinta on mahdollista myös tietokoneiden avustuksella. (Kunz & Fischer 2012) Tiedon yhtenäistämällä voidaan saavuttaa tulevaisuudessa mahdollisesti tiedon etsimisen, tulkinnan ja muuntamisen minimoimisen lisäksi muitakin hyötyjä. Kirjallisuuskatsauksen mukaan automaation onnistumisella on merkittävä vaikutus hankkeen läpimenoajan lyhenemiseen. (Kunz & Fischer 2012) (Laine et al. 2014)

6.7 Visualisoidun tiedon kautta johtaminen ja viestintä

Haastattelututkimuksen perusteella visuaalisen tiedon kautta johtamisessa ja viestinnässä on vielä puutteita. Kirjallisuuskatsauksessa törmättiin täysin samanlaisiin ongelmiin. (Khanzode et al. 2006) (Alhava et al. 2015) (Kunz & Fischer 2012) Visuaalisen johtamisen ja viestinnän keinoja löydettiin haastattelututkimuksen kautta kuitenkin pitkä lista. Listan keinoja voidaan käyttää sellaisenaan tuotannon mallinnuksen kehitystoimenpiteinä.

Kirjallisuuskatsauksessa mainittu ja jo käytössä oleva Big Room -työskentelymallikin on käytännössä tehostettu viestinnän muoto, joka onkin otettu kohdeyrityksessä käyttöön. Toimintatapaa tulisi käyttää vähintäänkin rakennushankkeen informaatio-intensiivisten vaiheiden aikana, joka on yleensä nimenomaan tuotannon suunnitteluvaihe ennen rakentamisen aloittamista. Tapaamisten tehokkuuden mittaamiselle on myös löydetty mittari, nimeltä DEEPAND. (Garcia & Fischer 2003)

7. TOIMENPIDE-EHDOTUKSET

7.1 Parhaimmat tuotannon mallintamisen toimintatavat ja käyttöönotto

On lopulta hankala perustella absoluuttisesti, mitkä ovat parhaita tuotannon mallinnuksen toimintatapoja. Paremmuus tulee tulkita suhteessa tässä työssä löydettyihin toimintatapoihin. Tämän tutkimuksen perusteella tuotannon mallinnuksen käyttöönotettavista varsinaisista toimintatavoista tai pikemminkin työkaluista toimivimmat ovat tällä hetkellä paikka-aikakaavion ja 4D-mallinnuksen käyttö tuotannon suunnittelussa. Niiden käytöstä on kattavasti tietoa ja niitä on käytetty menestyksekkäästi. On kuitenkin huomattava, että 4D-mallinnuksen täydet hyödyt saadaan irti vain, jos muutkin hankkeen osapuolet siirtyvät käyttämään virtuaalisen rakentamisen mahdollistavia työkaluja, omaksuvat niiden ominaisuudet ja ymmärtävät lisäksi niiden hyödyt.

4D-mallinnus yhdistää sujuvasti aikataulun, rakennusosat, määrät ja visuaalisen työskentelyn, jossa rakentamisen pullonkaulat pystytään havaitsemaan intuitiivisemmin, aikaisemmin ja varmemmin. Paikka-aikakaavion ja 4D-aikataulun lisäksi yhtä tärkeänä työkaluna voidaan pitää myös kriittisen polun huolellista kuvaamista ja kriittisimpien työvaiheiden tunnistamista havainnollisen ja visuaalisen kuvauksen kautta. Analysoinnin ansiosta riskien hallintaa saadaan parannettua, joka vaikuttaa lopulta yrityksen arvontuotokkykyyn positiivisesti. Tuotannon mallintamista, työmaata ja koko yritystä hyödyttävä tekijä on lisäksi toteumatiedon huolellinen kerääminen ja sen analysointi. Toteumatiedon avulla saadaan näkyviin tuotannon yleisimmät pullonkaulat ja riskit, mutta lisäksi myös toimivat ratkaisut. Laskentatiedon liittäminen 4D-malliin on perusteltua siksi, että kustannukset saadaan näkyvämmäksi hankkeen eri osapuolille. Jälkilaskentatiedolla pystytään edelleen arvioimaan tarkemmin ja varmemmin uusien hankkeiden kustannuksia ja läpivientä.

Taulukko 13: Parhaimmat tuotannon mallintamisen toimintatavat.

| Parhaimmat toimintatavat |
|--|
| Paikka-aikakaavion käyttö aikataulun aika-paikkariippuvuuksien havainnollistamiseen. |
| 4D-suunnittelu ja aikataulun visualisoiminen hankkeen eri osapuolille. |
| Kriittisen polun kuvaaminen, jotta kriittisimmät työvaiheet tunnistetaan. |
| Toteumatiedon kerääminen ja tehokas hyödyntäminen käynnissä olevassa hankkeessa ja seuraavissa hankkeissa. |

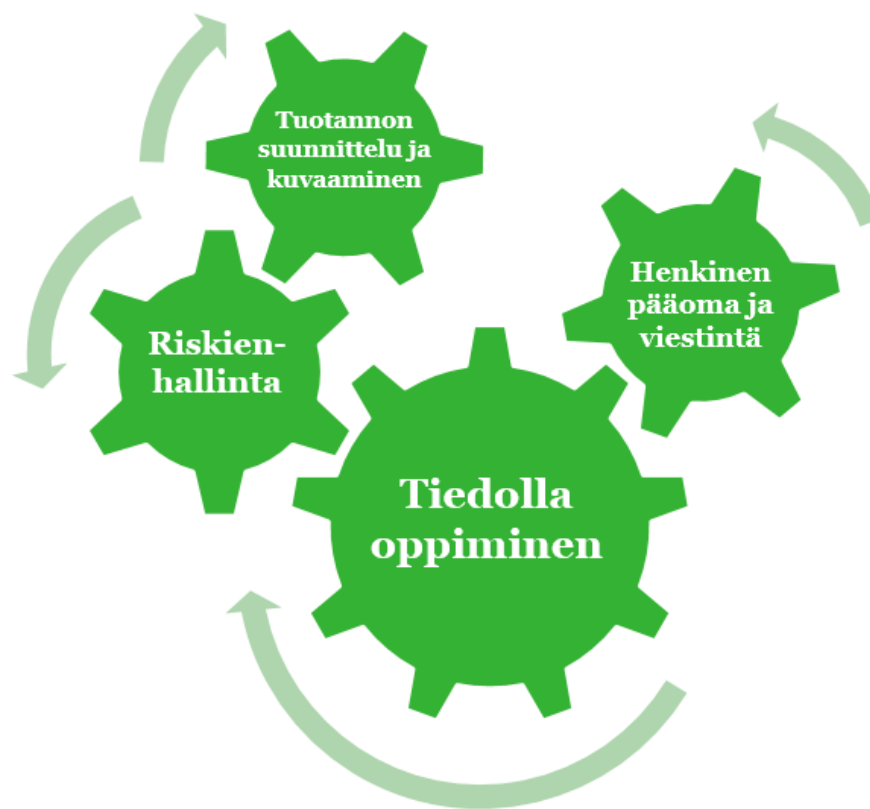
7.2 Tuotannon mallinnuksen kehittäminen

Tuotannon mallinnuksen kehittäminen kohti virtuaalista rakentamista on pohjimmiltaan kiinni perustavaa laatua olevista asioista ja vaiheista, jotka tulee tehdä virtuaalisen rakentamisen periaatteiden ja käyttöönottamisessa lueteltujen vaiheiden kautta. Ilman näiden asioiden ja vaiheiden huomioimista, on hankala ottaa käyttöön VDC:n sovelluksia ja työkaluja täysimääräisesti. On kuitenkin helppo ymmärtää yrityksen epävarma kanta virtuaalisen rakentamisen käyttöönottoon. Tässä tutkimuksessa ei ole saatu tarpeeksi luotettavaa tietoa virtuaalisen rakentamisen osana olevan tuotannon suunnittelun toimintatapojen käyttöönoton varsinaisesta arvontuotosta numeerisesti. Tällöin numeerinen arvontuotto tulisi arvioida tarkempien ja arvontuottoa mittaavien tutkimusten kautta. Työn perusteella tunnistettiin kuitenkin virtuaalisen rakentamisen hyötyjä ja riskejä yritykselle, jotka ovat lueteltuna alempana. Virtuaaliseen rakentamiseen siirryttäessä tulee ottaa huomioon myös kohdeyrityksen kanssa yhteistyössä toimivat yritykset ja virtuaalisten mallien kanssa työskentelyn rajapinnat. Ilman toimivia rajapintoja virtuaalisen rakentamisen hyödyt pienenevät.

Pelkästään tuotannon mallintamisen kehittämistä kohti virtuaalista rakentamista tuleekin harkita virtuaalisen rakentamisen toimintatapojen käyttöönotossa. Virtuaalinen rakentaminen koskettaa rakennushankkeen jokaista vaihetta ja edellyttää hankintamallien uudistamista. Jotta virtuaalinen rakentaminen toimii kirjallisuuskatsauksessa mainitun filosofian, kulttuurin ja teknologian kautta tehokkaasti ja parantaa rakentamisen tuloksia, tulee kyseiset kolme perustavaa laatua olevaa asiaa olla linjassa koko rakennushankkeen ajan ja mahdollisesti myös koko yrityksessä. Tulee siis huomata, että VDC:n käyttöönottoaminen on paljon muutakin, kuin uusien toimintatapojen käyttöönottoa vanhan toimintamallin sekaan. Rakentamisen filosofia ja työn tekemisen kulttuuri tulee muuttua, jotta muutosta saadaan aikaan osaprosesseissa, kuten tuotannon mallinnuksessa, suunnittelun ohjauksessa, laskennassa, hankinnassa, suunnittelussa, muiden yritysten toiminnassa ja lopulta tuotannossa. Teknologian ollessa merkittävässä osassa virtuaalista rakentamista, tulee varmistaa, että tietotekniset ratkaisut ovat linjassa virtuaalisessa rakentamisessa vaikuttavan filosofian ja kulttuurin kanssa.

Vain kokonaisvaltainen VDC:n käyttöönotto mahdollistaa hyötyjen tehokkaan ulosmittaamisen myös osaprosesseissa. Kirjallisuuskatsauksen kautta saadun käsityksen mukaan tietoteknisten ratkaisujen ja virtuaalisen rakentamisen käyttöönotosta on ollut kaikesta huolimatta hyötyä. Käyttöönotto voi myös epäonnistua, jos virtuaaliseen rakentamiseen pääsemiseksi muodostettuja tavoitteita ei haluta määritellä tarpeeksi tarkasti, niitä ei mitata, ohjata tai niitä kohti ei pyritä tarpeeksi päättäväisesti. Tällöin huolellinen VDC:n implementointi ja tavoitteiden sekä niiden toteutumista mittaavien mittareiden asettaminen on hyvin tärkeää virtuaalisen rakentamisen toimintatapoja käyttöön otettaessa.

Virtuaalisen rakentamisen käyttöönoton tuotannon mallinnuksessa on lopulta hyvin moniulotteinen kokonaisuus, jota on hankala kuvata yksiselitteisesti ja tietyllä tarkkuudella. Vaikka VDC:n käyttöönoton on yrityksen toiminnan näkökulmasta kokonaisvaltaista, on sen implementointi siitä huolimatta vaiheistettava. (Kunz & Fischer 2012) Kehitystoimenpidekuvaajassa (Liite 5) nähdään kolmivaiheinen VDC-toimintatapojen käyttöönotto. Kuvaajassa kaistoiksi on valittu tärkeimmät asiakokonaisuudet, joita tulee kehittää eteenpäin. Nämä osa-alueet ovat tiedolla oppiminen, tuotannon suunnittelu ja kuvaaminen, riskienhallinta ja henkinen pääoma ja viestintä. Näille kaistoille on sijoitettu kehitystoimenpiteet vaiheisiin nähden. Kuva 36: Osa-alueet, joita tulee kehittää liitteen 5 mukaisesti. mukaisesti osa-alueiden tulee olla osa kokonaisuutta ja toimia yhteen sujuvasti kehittämisen jokaisessa vaiheessa.



Kuva 36: Osa-alueet, joita tulee kehittää liitteen 5 mukaisesti.

Liitteen 5 kuvaajaan on lisätty 5D-mallin lisäksi niin sanottu nD-malli, jossa yhdistetään aikataulun ja kustannusten lisäksi muita tietoja 5D-mallin kokonaisuuteen. Niin sanottuun nD-malliin voidaan tuoda tai siihen voidaan yhdistää esimerkiksi hankinta-, energia-analyysi, as-built- ja ylläpitotietoa. Toimenpiteet ovat kaistoittain oikeassa järjestyksessä, mutta vertikaalisen akselin vastaavuus kaistojen kesken ei ole tarkasti määritelty. Vertailuarvojen vähäisen määrän ja soveltuvuuden takia tarkkoja virtuaalisen rakentamisen käyttöönoton taloudellisia vaikutuksia on hankala ennustaa. Kuvaajan kautta saadaan kaikesta huolimatta tarkasteltua tällä hetkellä tuotannon mallintamisen perusteltuja kehitystoimenpiteitä. Jatkotutkimusaiheena tulisi tutkia luotettavien mittaristojen kautta, millä

virtuaalisen rakentamisen kehitystoimenpiteillä on eniten arvoa tuottava vaikutus. Tuotannon mallinnuksen uusien virtuaalisen rakentamisen toimintatapojen hyötyihin kuuluvat muun muassa seuraavat asiat:

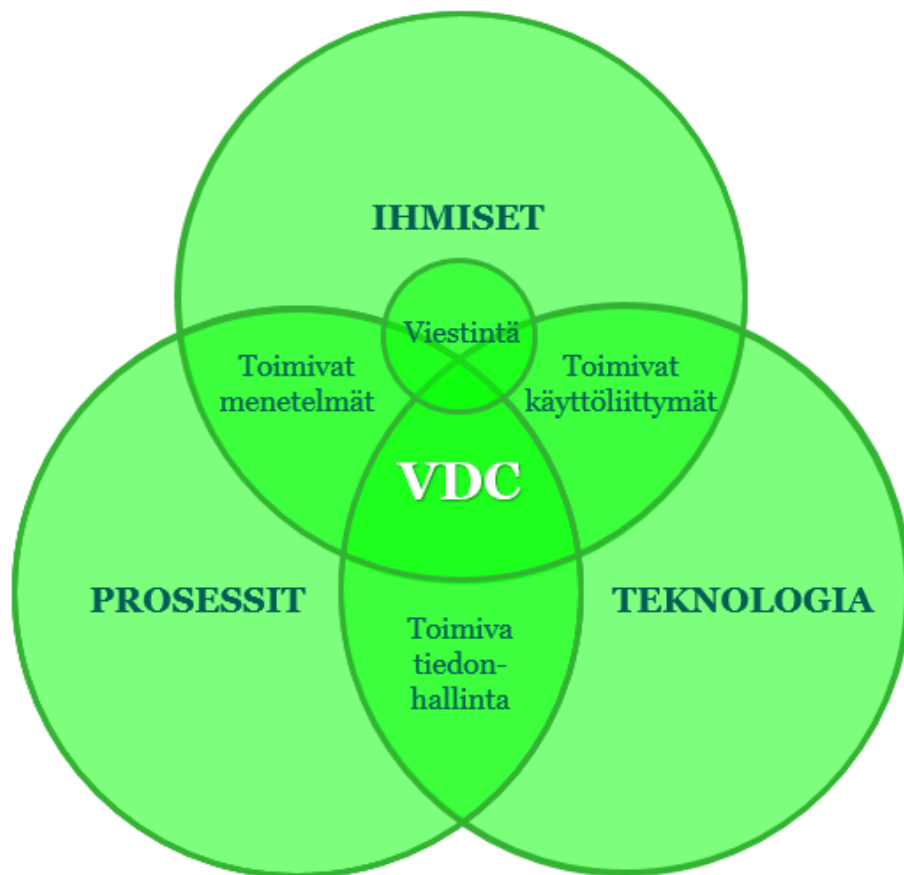
- Tiedonhallinta paranee työtehtävien ja tiedon integraation ansiosta.
- Yhteistyö paranee tiedon läpinäkyvyyden ja jakamisen ansiosta.
- Hukkaa saadaan poistettua, jolloin työntekijätunnit vähenevät ja yksikkötyökustannukset vähenevät.
- Tuotannon riskit vähenevät intuitiivisen visuaalisen tuotannon suunnitelmien tarkastelun ansiosta.
- Häiriöt tuotannossa vähenevät tehokkaamman seurannan ansiosta.
- Läpimenoaika lyhenee, kun häiriöitä ja hukkaa poistetaan.
- Arvontuotto paranee läpimenoajan ja hukan poistamisen ansiosta.
- Asiakkaat ovat tyytyväisempiä luotettavan tuotannon suunnittelun, paremman arvontuoton ja häiriöiden vähenemisen ansiosta.
- Toiminnalla erotutaan positiivisesti muista kilpailijoista.
- Kehitys on kestävä.

Yrityksen näkökulmasta seuraavat asiat voivat olla riskeinä, jos virtuaalisen rakentamisen toimintatapoja otetaan käyttöön:

- Kulttuuri ja asenteet rakennusosalalla ovat jämähtäneet, jolloin tavoitteisiin voi olla hankala sitoutua.
- Uuden toiminnan aiheuttamat investoinnit voivat aiheuttaa ainakin aluksi negatiivisen katteen.
- Tietoteknisen osaamisen puute voi hidastaa käyttöönottoa tai estää käyttöönoton onnistumisen.
- Virtuaalisessa rakentamisessa käytettävien ohjelmistojen sisäisten ja ulkoisten rajapintojen sekä käyttöliittymien ongelmat saattavat hankaloittaa käyttöönottoa.

Työn aikana oivallettiin, mitkä ovat virtuaalisen rakentamisen yleisemmällä tasolla olevat asiakokonaisuudet ja kuinka ne suhtautuvat toisiinsa. Virtuaalisessa rakentamisessa on lopulta kyse siitä, että ihmiset, prosessit ja teknologia yhdistetään tavalla, joka mahdollistaa rakennusprojektien johtamisen tiedon avulla. Kuva 37: VDC yhdistää ihmiset, toiminnan ja teknologian. Toimintaan tulisi lisäksi integroida myös toimiva viestintä saumatonta yhteistyötä silmällä pitäen. Nähdään, kuinka asiat suhteutuvat toisiinsa nähdessä ja kuinka esimerkiksi ihmisten ja teknologian kohtaamisessa tulee ottaa huomioon käyttöliittymien toimivuus. Jotta ihmisten, teknologian ja prosessien välillä olisi staattisen yhteyden lisäksi aito vuorovaikutus, tulee sitä ylläpitää toimivan viestinnän avulla. Viestinnän tehostamisessa työkaluina tulee käyttää esimerkiksi intensiivistä Big Room -työskentelyä ja saumattomia viestintäteknologian sovelluksia. Virtuaalisen rakentamisen toimin-

tatapoja käyttöönottaessa organisaation täytyy lopulta itse kehittää oma ja sopiva lähestymistapansa virtuaaliseen rakentamiseen, koska kirjallisuuskatsauksen ohjeet ovat lopulta melko suurpiirteisiä ja vain kehitystä ohjaavia.



Kuva 37: VDC yhdistää ihmiset, toiminnan ja teknologian. Toimintaan tulisi lisäksi integroida myös toimiva viestintä saumatonta yhteistyötä silmällä pitäen.

8. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä tutkimuksen osiossa tarkastellaan saatujen tulosten vastaavuutta suhteessa tutkimuskysymyksiin jonka lisäksi tulosten luotettavuutta ja tarkkuutta arvioidaan. Johtopäätöksissä on myös pohdittu tuloksiin vaikuttavia tekijöitä ja näiden vaikutusta tutkimustuloksiin. Luvun lopussa annetaan jatkotutkimusehdotuksia tutkimuksen aihealueisiin liittyen.

8.1 Vastaaminen tutkimuskysymyksiin

Alempana on lueteltu kysymykset, joista ensimmäinen on päätutkimuskysymys.

1. Päätutkimuskysymys: Miten kohdeyrityksen nykyistä tuotannon mallinnuksen toimintatapaa tulee kehittää kohti virtuaalista rakentamista?
2. Mitkä ovat nykyaikaisen tuotannonsuunnittelun parhaita käytäntöjä rakentamisen valmisteluvaiheessa kansainvälisesti?
3. Mitä ominaisuuksia tuotoksilta odotetaan ja vaaditaan, jotta tuotannonsuunnitteluun voidaan kytkeä oikea osaaminen oikeaan aikaan?
4. Mitä ovat tuotannon mallintajan palvelutuotteet, kun tuotannon mallinnus nähdään sisäisenä palveluntuottajana?

Diplomityö vastasi päätutkimuskysymykseen kysymyksen asettelu ja tutkimuksen laajuus huomioon ottaen hyvin. Työn päätuloksena saatiin lopulta kehitystoimenpiteet tuotannon mallinnuksen viemiseksi kohti virtuaalista rakentamista. Tärkeimpinä kehitysalueina ovat yleisesti tuotannon suunnittelun ja kuvaamisen kehittämisen lisäksi tiedolla oppiminen, riskien hallinta sekä henkinen pääoma ja viestintä. Tuotannon mallinnuksen lisäksi parannettavaa on osaprosesseissa, jotka liittyvät tuotannon mallinnukseen. Tällöin rakennushankkeen tuotannon suunnittelua tulisikin optimoida osaprosessien sijasta kokonaisuutena ja lopulta mukaan tulisi ottaa myös rakennushankkeen kaikki vaiheet ja toimijat. Virtuaalisen rakentamisen käyttöönoton myötä rakennushankkeessa olevat ihmiset, prosessit ja teknologia sidotaan yhteen toimivaksi kokonaisuudeksi.

Toiseen tarkentavaan tutkimuskysymykseen saatiin diplomityön aikarajoihin suhteutettuna hyvä vastaus, vaikkakin jatkotutkimusta on edelleen syytä tehdä asiaan liittyen. Tutkimuksen kautta tehdyllä kirjallisuuskatsauksella pystyttiin kuitenkin esittelemään tunnetuimmat kansainväliset toimintamallit. Paremmuuden toteaminen oli hankalaa ja sen arviointia ei tässä työssä voitu tehdä kovin luotettavasti, mutta paremmuutta pohdittiin menetelmän laajuuden ja siitä saatujen kokemusten perusteella.

Kolmanteen tarkentavaan tutkimuskysymykseen saatiin haastattelututkimuksella lähinnä ideoita, mutta myös kokemusperäistä tietoa erilaisiin työtehtäviin erikoistuneilta alan ammattilaisilta. Tulokset olivat 8 henkilön osallistuminen huomioiden kuitenkin tarpeeksi kattavat. Tuloksilla saatiin yleiskäsitys tuotannon mallinnuksen tietojen tarpeellisuudesta ja ominaisuuksista. Tulosten avulla pystyttiin perustelemaan puolin ja toisin kirjallisuuskatsauksen ja työpajojen löydöksiä.

Neljänteen tutkimuskysymykseen vastaaminen oli haasteellista, koska tuotannon palvelutuotteet ehdittiin määritellä jo hyvin työn tekemisen aikana. Tämä ei kuitenkaan estänyt vastaamista kysymykseen, koska tuotteita tai niiden ominaisuuksia saattaa silti puuttua tai ne täytyy määritellä uudelleen. Tulosten perusteella mittavia muutoksia itse tuotteisiin ei sinänsä tarvitse tehdä, mutta niiden ominaisuuksia pohdittiin. Tutkimuskysymyksen lopullinen vastaus avasi tuotannon mallinnuksen mahdollisuuksia käytettävissä olevan tietotekniikan puitteissa. Tämä on tutkimusprosessikaavion mukaan oikeanlainen tulos, josta voidaan sanoa, että tulos osui oikeaan, vaikka kysymyksen asettelu oli lopulta hieman väärä.

8.2 Kirjallisuuskatsauksen kattavuus

Virtuaalinen rakentaminen oli tutkijalle uusi käsite, joka teki sen tutkimisesta mielenkiintoista. Tutkijan pohjatietoihin kuului paljon tietämystä tietomalleista ja lisäksi myös niiden käyttötapauksista työelämässä. Tuotannon mallinnus oli tutkijalle häilyvä käsite diplomityön alussa, mutta käsite selkeytyi asteittain tutkimuksen edetessä. Pohjatieto auttoi tutkimusten etsimisessä ja läpikäymisessä, jolloin aiheeseen liittyvää kirjallisuutta kerääntyi hyvin paljon ja siitä oli mahdollista karsia oleellinen aines. Tutkija valitsi parhaimmalta vaikuttavat tutkimuspaperit yli sadan aihealueeseen liittyvä tutkimuspaperin joukosta ja keskittyi valittuihin tutkimuksiin tarkemmin. Kaikista läpikäydyistä tutkimuksista lopulta vain alle puolet käytiin tarkemmin läpi. Edelleen näistä noin viidestäkymmenestä tutkimuspaperista mukaan otettiin tähän työhön parhaiten soveltuvat ja oleellista tietoa tarjoavat lähteet.

Tutkijan ennakkokäsitykset virtuaalisesta rakentamisesta ja tuotannon mallintamisesta ovat varmasti vaikuttaneet kirjallisuustutkimuksen niin sanotun polttopisteen määräytymiseen. Tutkimusta varten laadittiin kuitenkin huolellisesti tehty tutkimussuunnitelma, joka antoi paremman suunnan ja tarkkuuden myös kirjallisuuskatsauksen tekemiselle. Tästä tutkimuksesta saattoi kuitenkin jäädä pois oleellisiakin lähdetutkimuksia diplomityön asettamien aikarajoitteiden takia. Tämän takia tutkimusta olisi voinut rajoittaa edelleen tarkemmin. Tarkempaan aihealueeseen keskittyminen olisi voinut tuoda intensiivisempää ja syvällisempää tietoa ja oivalluksia kapeammasta aihealueesta. Jatkotutkimus työn pohjalta on tällöin entistä suotavampaa. Tutkimuksen kirjallisuuskatsauksen löydöksiin on myös vahvasti vaikuttanut visuaalisten keinojen painottaminen. Yleisellä tasolla tärkeimmät kirjallisuuskatsauksen kautta saadut hyödyt virtuaalisen rakentamisen ja tuotannon mallinnuksen tutkimisen kannalta ovat olleet

- ymmärryksen syventyminen aiheeseen liittyen,
- mahdollisuuksien sekä haasteiden tunnistaminen ja
- konkreettisten käytötapausten kuvaaminen.

8.3 Teemahaastattelun luotettavuus

Teemahaastattelujen kautta saatiin valtava määrä aineistoa, josta tiivistettiin tuloksiin oleellinen aines tekstiksi. Tämän tekstin pohjalta taas muodostettiin yhteenvetoja taulukoiden ja kuvaajien muodossa. Näitä yhteenvetoja käytettiin tulosten tarkastelussa, jotta tulosten tarkastelu ylipäänsä oli järkevällä tavalla mahdollista. Tällaiseen prosessiin liittyy kuitenkin aina mahdollisuus tiedon häviämisestä tai vääristymisestä matkan varrella tulkintojen ja aineiston laajuuden takia. Teemahaastattelun otoksena oli 8 rakennusalan ammattilaista, joista parhaiten edustettuina olivat työnjohtajat ja toisena työpäälliköt. Tällä painotuksella voi olla vaikutusta tulosten antamaan suuntaan. Tuloksissa voi tämän ansiosta painottua työmaan toiminnan ja toteutusvaiheen näkemys. Kustannuslaskennan ja hankinnan puolelta haastateltavia oli vain yksi kumpakin, mikä tulee ottaa huomioon tutkimuksen tuloksia arvioitaessa. Kaikilta haastatteliijoilta saatiin kuitenkin kattavasti hyvää aineistoa tutkimusta varten.

Tulokset teemahaastatteluista eivät aina suoraan korreloi kirjallisuuskatsauksessa esille tulleiden asioiden kanssa, koska teemahaastatteluissa esille tulleet asiat ovat koskeneet kohdeyrityksen tuotannon mallinnuksen konkreettisten tuotosten asiasisältöä, visualisointien mahdollisuuksia, tuotannon suunnittelun tietoa ja lopulta myös viestintää. Kirjallisuuskatsaus antoi tietoa virtuaalisesta rakentamisesta ja uudenaikaisesta tuotannon suunnittelusta yleisemmällä tasolla. Muun muassa POP-mallin ja IPD:n tarkasteluun teemahaastattelut ja työpajat eivät juurikaan antaneet näkökulmia.

8.4 Työpajojen vaikutus tutkimuksen tuloksiin

Työpajojen kautta ei saatu aivan täsmällistä vastausta neljänteen tutkimuskysymykseen, koska tutkimuksen asettelu muuttui tutkimuksen aikana. Tutkimuksen aikana tuotannon mallinnuksen tuotteet ehdittiin jo määritellä yrityksen toimesta. Työpajojen ottaminen osaksi tiedonkeruuta oli tutkijan oma päätös. Tutkijalla ei ollut työpajan pitämisestä aikaisempaa kokemusta, mutta se vaikutti hyvältä tiedonkeruumenetelmältä ajatellen tuotannon mallintajien tiimiä, joka koostui käytännössä kolmesta henkilöstä. Teemahaastattelun soveltaminen olisi vaatinut uuden kyselylomakkeen muodostamista, jonka lisäksi otos olisi jäänyt hyvin pieneksi. Tuotannon mallintajien asiantuntemus ja näkemys asiaan haluttiin kuitenkin mukaan tutkimukseen työpajojen kautta.

Tutkija tutustui ennen työpajojen pitämistä lyhyesti työpajojen niin sanottuun fasilitointiin. Työpajoille annettiin selkeät tavoitteet, jotka tuli täyttää, jotta tuotannon mallintajien asiantuntijuutta saatiin hyödynnettyä tehokkaasti tuloksissa. Työpajojen avulla tuotannon

mallintajien näkemyksiä saatiin koottua yhteen ja tilaisuuksissa oli mahdollista vaihtaa ajatuksia ja pohtia virtuaalisen rakentamisen ja tuotannon mallintamisen asioita yleisesti. Ensimmäisen työpajan aikana diplomityön välituloksia ei juurikaan ollut saatavilla. Toisessa työpajassa kaikki tulokset kirjallisuuskatsauksesta ja teemahaastatteluidista olivat jo alustavasti selvillä ja ne esiteltiin tiivistetysti tuotannon mallintajille. Niillä ei ollut kuitenkaan vaikutusta toimintatapojen ja ohjelmistojen ominaisuuksien keräämiseen. Työpajan kautta tuloksiin saatiin hyvää palautetta, jonka avulla tulosten tulkitsemisessa pystyttiin keskittymään olennaisiin asioihin entistä paremmin. Työpajojen ansiosta tutkimuksen tulosten tarkastelussa pystyttiin viemään asioita tarkemmin kohti kohdeyrityksen tavoitteita.

8.5 Työskentely kohdeyrityksessä tutkimuksen aikana

Kohdeyrityksen ensisijainen toimipiste sijaitsee Vantaalla, johon tutkijalla oli noin kahden tunnin automatka ja työtä tehtiin aluksi koulun opiskelutiloissa ja kotona. Tutkimustyön alkuvaiheessa tarjoutui kuitenkin ainutlaatuinen tilaisuus työskennellä kohdeyrityksen Tampereen toimipisteen toimistotiloissa. Diplomityön ohjaaja yrityksen puolelta työskenteli myös samoissa tiloissa, jolloin vuoropuhelu oli huomattavasti helpompaa, kuin esimerkiksi sähköpostin välityksellä tai satunnaisten tapaamisten aikana. Työn ohjaus yrityksen puolelta on ollut tämän ansiosta vahvaa, joten tulokset vastaavat paremmin yrityksen tarpeita. Tutkija ei ole ollut täysin puolueeton tutkimusta tehdessä kohdeyrityksessä muodostuneen työskentelyhistorian takia, jolloin kohdeyrityksen strategia, arvot, meneillään olevat kehityshankkeet ja yrityksen muu vaikutus on myös näkynyt tutkimuksen tekemisessä ja lopputulosten kirjoittamisessa. Eniten tulosten tarkasteluun ja johtopäätöksiin kirjoituksen aikana on vaikuttanut tutkijan mukana oleminen virtuaalisen rakentamisen kehitystyössä, jossa tutkija on päässyt näkemään ja kuulemaan muun muassa VDC:n implementoivista työkaluista ja VDC:n asiantuntijoiden ajatuksista.

Kohdeyrityksen puolelta olevan ohjaajan kanssa käytiin silloin tällöin lyhyitä ja joskus pidempiä keskusteluja tutkimustyöhön liittyen. Tutkija sai jo varhaisessakin vaiheessa tutkimustyötä oikea-aikaista ohjausta ja tietoa tuotannon mallinnuksen käytännön mahdollisuuksista, haasteista ja toimintatavoista. Keskustelujen ansiosta myös ohjaaja sai hyödynnettyä tutkijan osaamista ja tuloksia työn edetessä. Tutkija osallistui yrityksen tuotannon mallintajien tiimipalavereihin ja seurasi tuotannon mallintajien työskentelyä tätä kautta etenkin työn alkuvaiheessa. Loppuvaiheessa palaverit harvenivat ja tuotannon mallinnuksen asioita käsiteltiin muissa palaverissa, joihin tutkija pääsi lopulta harvoin osallistumaan. Tämän tueksi tutkija kävi toisen työpajan aikana työn tuloksia läpi tuotannon mallintajien kanssa.

Myös kohdeyrityksen toimitiloissa työskentely ja toiminnassa mukana olo on sujuvoittanut diplomityön tekemistä. Tutkijalla oli jo ennen diplomityön tekemistä selvillä, kuinka yrityksessä tulee toimia ja kuinka erilaiset järjestelmät toimivat. Haastattelututkimuksen aikana on ollut hyötyä siitä, että haastateltavat ovat olleet yrityksen sisäisiä työntekijöitä.

Haastatteluajojen sopiminen helpottui huomattavasti jaettujen kalentereiden avulla. Lisäksi tutkijalla oli vapaa pääsy yrityksen toimitiloihin ja neuvotteluhuoneiden varauksiin. Mahdollisuus etäneuvotteluun antoi joustavuutta haastattelujen pitämiseen, ja lopulta suurin osa haastatteluista pidettiin etäyhteyden välityksellä. Tutkijalla oli myös pääsy yrityksen muihin materiaaleihin ja tiedostojärjestelmiin, joiden avulla tietoa saatiin jaettua sujuvasti esimerkiksi ohjaajan kanssa.

8.6 Jatkotutkimusehdotukset

Virtuaalinen rakentaminen on vielä Suomessa verrattain tuntematonta aihealuetta ja sitä tulisikin tutkia entistä tarkemmin. Tutkimuksen aikana esiin tulleita jatkotutkimusaiheita ovat olleet muun muassa seuraavat aiheet:

- **Luotettavien mittaristojen kautta tehtävä tutkimus siitä, millä virtuaalisen rakentamisen toimintatavoilla on eniten arvoa tuottava vaikutus:** Virtuaalisen rakentamisen hyötyjä on hankala todistaa ilman kvantitatiivisia lukuja virtuaalisen rakentamisen ansiosta saatavista taloudellisista säästöistä, ajanhukan poistamisesta tai materiaalisäästöistä. Tutkimuksessa tulisi tutkia, mitä mittareita VDC:n hyötyjen mittaamiseen on olemassa ja keskittyä tutkimuksiin, joissa mittareita on käytetty. Jos mittarit ovat hyvin selvillä, mutta mittauksia ei ole vielä tehty, tulisi mittareita kokeilla esimerkiksi case-kohteessa ja raportoida mittauksen tulokset virtuaalisen rakentamisen käyttöönoton näkökulmasta.
- **Case-tutkimusten tekeminen VDC:n toiminnasta asuntotuotannossa:** Virtuaalista rakentamista ei ole käytetty vielä kattavasti asuntorakentamiskohteissa. VDC:n soveltumisesta nimenomaan asuntorakentamiseen tarvittaisiin lisää tutkimustietoa.
- **Hyviksi todettuja virtuaalisen rakentamisen toimintatapoja ja prosesseja tulisi kuvata tarkemmalla tasolla:** Virtuaalisen rakentamisen tarkemmat toimintatavat voivat olla yritysten kilpailuvaltteja ja niistä ei välttämättä ole avointa tutkimustietoa. Avoimempi tutkimus VDC:n toimintamalleista tarkemmalla tasolla tulisi tehdä, jotta VDC:n käyttöönottoon saataisiin paremmat ohjeet ja pohjatiedot.
- **POP-mallien tai muiden virtuaalisen rakentamisen tiedon yhtenäistämiseen tähtäävien mallien tarkempi tutkiminen ja soveltuvuus kohdeyrityksen toimintaan:** Tutkimusten mukaan POP-mallilla voitaisiin parantaa virtuaalisen rakentamisen tiedon yhtenäistämistä ja sillä pystyttäisiin analysoimaan rakentamista. Aiheesta ei saatu kuitenkaan tämän työn puitteissa tarpeeksi kattavaa kuvaa. Tiedonhallintaa rakentamisessa tulisi tutkia lisää ja sen parantaminen on tärkeää rakentamisen digitalisoitumisen kannalta.
- **IPD:n soveltuvuus asuntorakentamiskohteisiin.**

LÄHTEET

- Aaltola, J. & Raine, V., 2001. *Ikkunoita tutkimusmetodeihin 1* 2nd ed., Jyväskylä: PS-kustannus.
- Alarcón, L.F., Mandujano, M.G. & Mourgues, C., 2013. Analysis of the implementation of VDC from a lean perspective: Literature review. *21st Annual Conference of the International Group for Lean Construction 2013, IGLC 2013*, (56 2), pp.100–109. Available at: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84903272587&partnerID=tZOtx3y1>.
- Alhava, O., Laine, E. & Kiviniemi, A., 2015. Intensive big room process for co-creating value in legacy construction projects. *Journal of Information Technology in Construction*, 20, pp.146–158. Available at: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84921664276&partnerID=tZOtx3y1>.
- Van Berlo, L.A.H.M. & Natrop, M., 2015. BIM on the construction site: Providing hidden information on task specific drawings. *Journal of Information Technology in Construction*, 20, pp.97–106. Available at: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84921685621&partnerID=tZOtx3y1>.
- Bortolini, R., Shigaki, J.S.-I. & Formoso, C.T., 2015. Site Logistics Planning and Control Using 4d Modeling: A Study in a Lean Car Factory Building Site. *23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 55(51), pp.361–370. Available at: <http://www.iglc.net/papers/details/1222>.
- Chen, Y.H. et al., 2013. Selection and evaluation of color scheme for 4D construction models. *Journal of Information Technology in Construction*, 18, pp.1–19. Available at: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84876904672&partnerID=tZOtx3y1>.
- Cheng, J.C.P. & Kumar, S., 2015. A BIM -Based Framework For Material Logistics Planning. *Proceedings IGLC-23*, pp.33–42. Available at: www.iglc.net.
- Coughlan, M., Cronin, P. & Ryan, F., 2013. *Doing a literature review in nursing, health and social care*, London: SAGE Publications Ltd.
- Fira, 2015. Tuotannonmallinnuksen palvelutuotteet sekä tuotantosunnittelun kulku tuotannonmallintajan näkökulmasta - Powerpoint esitys.
- Fischer, M. & John, K., 2004. The Scope and Role of Information Technology in Construction. *CIFE Technical Report*, (156), pp.1–17.
- Garcia, A.C.B. & Fischer, M.A., 2003. Meeting Details: Methods to Instrument Meetings and Use Agenda Voting to Make Them More Effective. *CIFE Technical Report*, 147(OCTOBER 2011).
- Gilligan, B. & Kunz, J., 2007. VDC Use in 2007: Significant Value, Dramatic Growth, and Apparent Business Opportunity. *Center For Integrated Facility Engineering*, (December), pp.1–40.

- Henttinen, T. & Vara, J., 2012. Yleiset tietomallivaatimukset 2012, Osa 8. Havainnollistaminen. In *Yleiset tietomallivaatimukset 2012*. COBIM - hankkeen osapuolet, Rakennustietosäätiö RTS, pp. 1–14.
- Herrala, O., 2015. Firan Aho: Rakennusalan sarjakriisiin on ratkaisu. *Kauppalehti*. Available at: <http://www.kauppalehti.fi/uutiset/firan-aho-rakennusalan-sarjakriisiin-on-ratkaisu/eHA9vVQa> [Accessed March 10, 2016].
- Hirsjärvi, S. & Hurme, H., 2011. *Tutkimushaastattelu: teemahaastattelun teoria ja käytäntö*, Helsinki: Gaudeamus Helsinki University Press.
- Howell, G. a, 1999. What Is Lean Construction? *Proc. of 7th IGLC*, pp.1–10.
- Juntunen, J., 2015. *Big room suunnittelun ohjauksen työkaluna*. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto.
- Karjula, J. & Mäkelä, L., 2012. Yleiset tietomallivaatimukset 2012, Osa 11. In *Yleiset tietomallivaatimukset 2012*. COBIM - hankkeen osapuolet, Rakennustietosäätiö RTS, pp. 1–29.
- Kenley, R. & Seppänen, O., 2006. *Location-Based Management for Construction: Planning, Scheduling and Control*, Taylor & Francis, 2006.
- Kent, D.C. et al., 2010. Understanding Construction Industry Experience and Attitudes toward Integrated Project Delivery. , 136(August), pp.815–825.
- Khanzode, A. et al., 2006. A Guide to applying the principles of virtual design & construction (VDC) to the lean project delivery process. *CIFE, Stanford University*, ..., (December), pp.1–47. Available at: <http://www.stanford.edu/group/CIFE/online.publications/WP093.pdf>.
- Khanzode, A., Fischer, M. & Reed, D., 2008. Benefits and lessons learned of implementing Building Virtual Design and Construction (VDC) technologies for coordination of Mechanical, Electrical, and Plumbing (MEP) systems on a large Healthcare project. *Electronic Journal of Information Technology in Construction*, 13, pp.324–342. Available at: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-46349088624&partnerID=tZOtx3y1>.
- Kunz, J. & Fischer, M., 2012. Virtual Design and Construction: Themes, Case Studies and Implementation Suggestions. *Environmental Engineering*, 14(January), p.50. Available at: <http://www.stanford.edu/group/CIFE/online.publications/WP097.pdf>.
- Laine, E., Alhava, O. & Kiviniemi, A., 2014. Improving Built-in Quality by BIM Based Visual Management. *Proceedings IGLC-22*, 22, pp.945–956.
- Linderoth, H.C.J., 2010. Understanding adoption and use of BIM as the creation of actor networks. *Automation in Construction*, 19(1), pp.66–72. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0926580509001289>.
- Ma, Z., Shen, Q. & Zhang, J., 2005. Application of 4D for dynamic site layout and management of construction projects. *Automation in Construction*, 14(3), pp.369–381.
- Mäki, T., Paavola, S. & Kerosuo, H., 2012. *Tietomallintamisen käytöt rakentamisessa*, Helsinki.
- Mölsä, S., 2015. Näin rakentaja digiloikkaa. *Rakennuslehti*. Available at: <http://www.rakennuslehti.fi/blogit/nain-rakentaja-digiloikkaa/> [Accessed March 9,

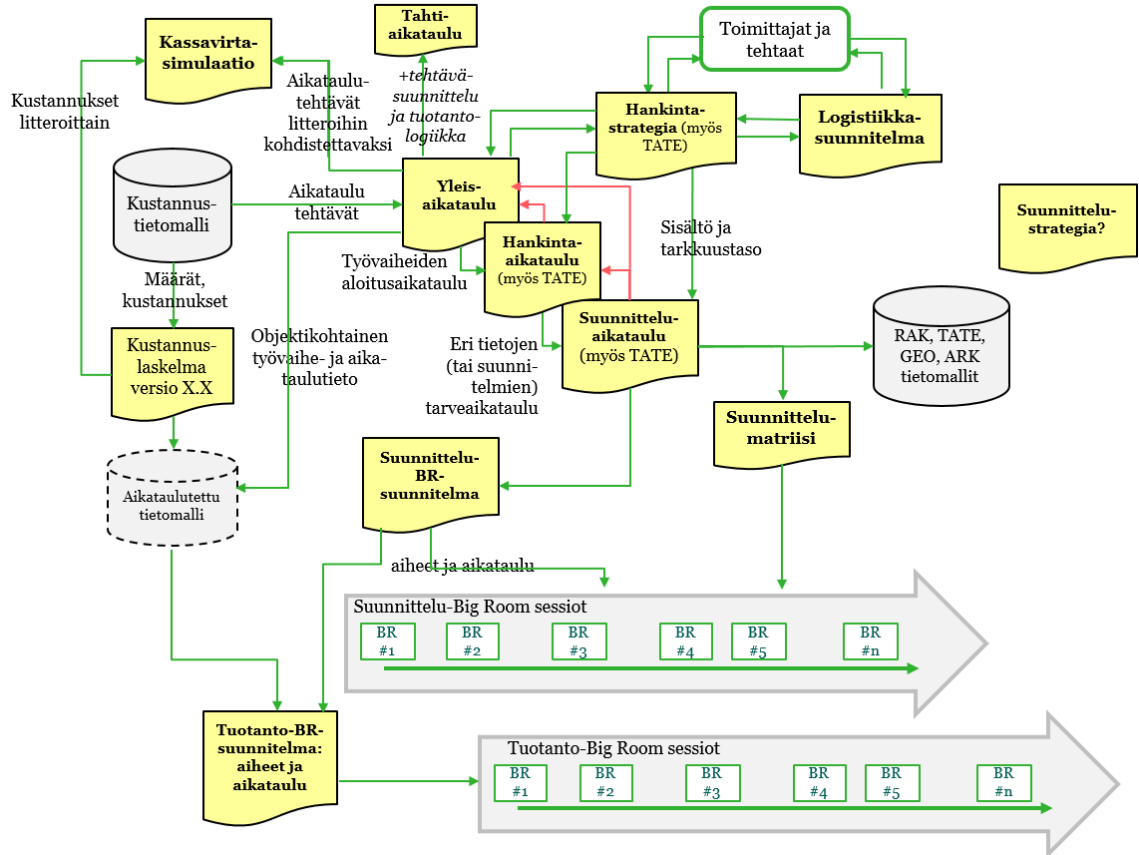
2016].

- Popov, V. et al., 2010. The use of a virtual building design and construction model for developing an effective project concept in 5D environment. *Automation in Construction*, 19(3), pp.357–367. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2009.12.005>.
- Rischmoller, L., Alarcón, L.F. & Koskela, L., 2006. Improving Value Generation in the Design Process of Industrial Projects Using CAVT. *Journal of Management in Engineering*, 22(2), pp.52–60.
- Rischmoller, L., Fischer, M. & Fox, R., 2001. 4D Planning and Scheduling (4D-Ps): Grounding Construction IT Research In Industry Practice. *Construction Informatics Digital Library*, (1), pp.1–11.
- Seppänen, O., 2014. A comparison of takt time and LBMS planning methods. *Proceedings IGLC-22, Oslo, Norway*, pp.727–738.
- Skjelbred, S., Fossheim, M.E. & Drevland, F., 2015. Comparing Different Approaches to Site Organization and Logistics : Multiple Case Studies. *Proc. 23rd Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Construction*, pp.13–22.
- Staub-French, S. & Khanzode, A., 2007. 3D and 4D modeling for design and construction coordination: Issues and lessons learned. *Electronic Journal of Information Technology in Construction*, 12(September 2006), pp.381–407.
- Tezel, A. et al., 2011. An examination of visual management on finnish construction sites. *19th Annual Conference of the International Group for Lean Construction 2011, IGLC 2011*, pp.115–124. Available at: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84876774497&partnerID=tZOtx3y1>.
- Tezel, B., Koskela, L. & Tzortzopoulos, P., 2010. Visual management in construction: Study report on Brazilian cases. *Scri*, (March). Available at: http://usir.salford.ac.uk/12865/2/Visual_Management_in_Construction.pdf.
- Wang, X. & Chong, H.-Y., 2015. Setting new trends of integrated Building Information Modelling (BIM) for construction industry. *Construction Innovation*, 15, pp.2–6. Available at: <http://dx.doi.org/10.1108/CI-10-2014-0049>.
- Yassine, T. et al., 2014. Implementing Takt-Time Planning in Construction to Improve Work Flow. *Proceedings for the 22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, pp.787–798. Available at: <http://new.iglc.net/Papers/Details/1023>.

LIITTEET

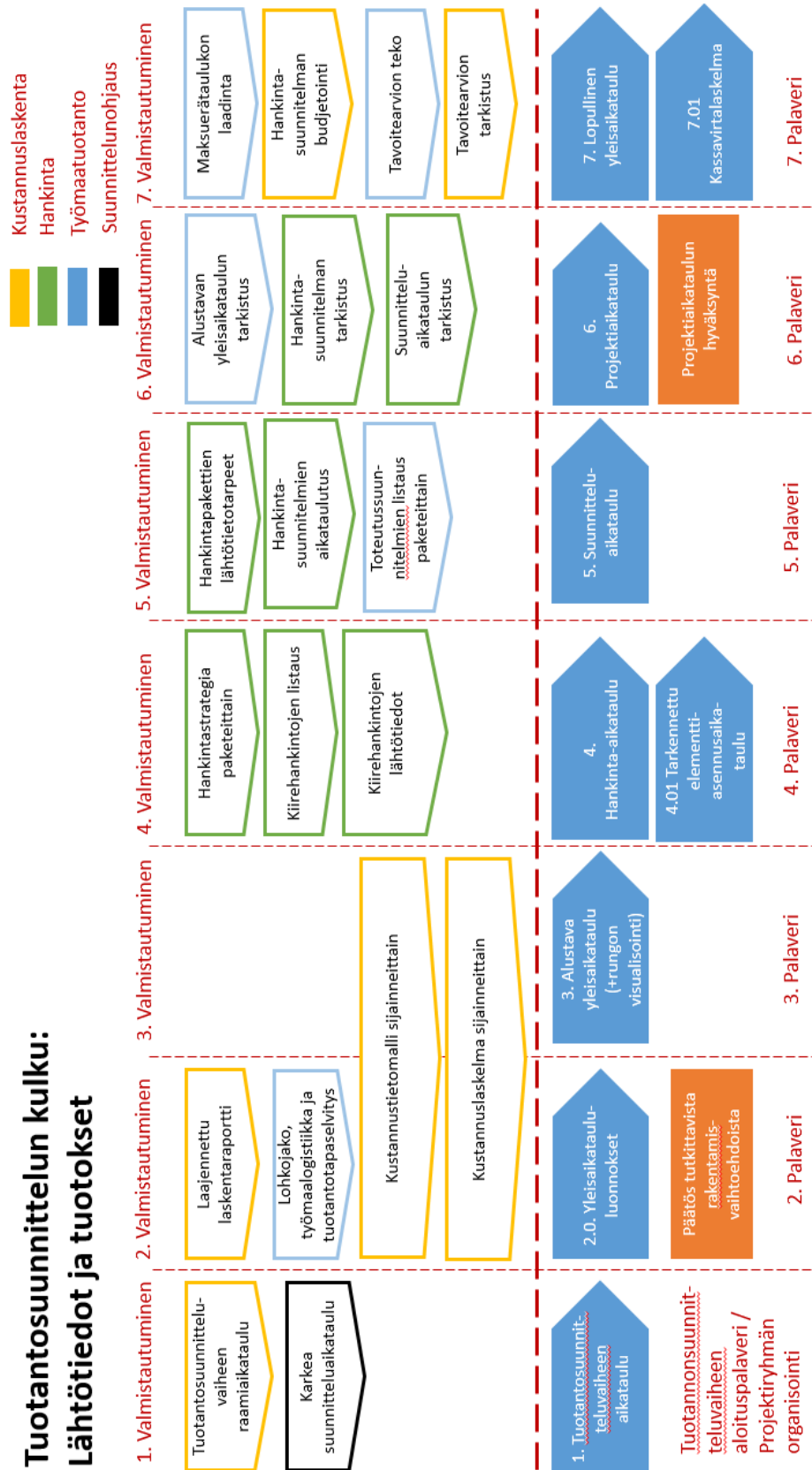
Liite 1: Huolellisen tuotannosuunnittelun logiikka -kaavio

HUOLELLISEN TUOTANTOSUUNNITTELUN LOGIIKKA



Liite 2: Tuotantosuunnittelun kulku Firalla

Tuotantosuunnittelun kulku: Lähtötiedot ja tuotokset



Liite 3: Teemahaastattelun runko

TEEMAHAASTATTELU: TUOTANNON MALLINTAJAN PALVELUTUOTTEET (TUOTANNON SUUNNITELMAT JA NIIDEN KÄYTETTÄVYYS)

Haastateltavan nimi:

Yritys:

Titteli:

Sähköposti:

1. Esipuhe ja taustoittavat kysymykset

- 1.1. Minkälainen on työnkuvasi Firassa?
- 1.2. Kerro lyhyesti minkälaista kehitystyötä on meneillään liittyen omaan työhösi?
- 1.3. "Tuotannon mallinnus on rakentamisen ja rakentamisen valmistelun logiikan esilletuontia aikataulujen ja erilaisten 3D-suunnitelmien kautta."
 - 1.3.1. (Palvelu)tuote/tuotos = Rakennushankkeen tuotannon suunnitelma/dokumentti
 - 1.3.2. Esitä kaavio tuotannon mallinnuksesta ja kerro tuotoksista, jotka on määritelty tuotannon mallintajien tehtäväksi
 - 1.3.3. Mitä tuotoksia käytät omassa työssäsi eniten?

2. Visuaalinen ja havainnollinen tiedon esittäminen tuotannon mallinnuksessa

- 2.1. Minkälaisen tuotannon suunnitelmien omaksumisessa ja hahmottamisessa menee paljon aikaa?
- 2.2. Onko jotain oleellisia asioita, jotka ovat jääneet usein sinulle tai muille hankkeen osapuolille epäselviksi tuotannon suunnitelmista? Miksi?
- 2.3. Onko hankkeissa esiintynyt joitain tapoja, jotka helpottavat ymmärtämään asioita nopeammin ja paremmin? (esim. kuvat, 3D esitys, tietoa korostettu punakynällä, yms.)
 - 2.3.1. Missä dokumenteissa tai suunnitelmissa kyseisiä tapoja esiintyy?
 - 2.3.2. Onko joitain suunnitelmia, joissa tapoja voitaisiin vielä hyödyntää? (esim. aluesuunnitelma, logistiikka, rungon pystytys)
 - 2.3.3. Miksi havainnollisesta esitystavasta tai 3d:stä on ollut hyötyä?
 - 2.3.4. Miten yhdessä sovittujen värien, symbolien ja muiden visuaalisten keinojen käytöstä olisi hyötyä?
- 2.4. Mitä haasteita näet 3D:n ja visualisoinnin käytössä?
- 2.5. Miten Firalla voitaisiin parantaa asioiden havainnollista esittämistä?
- 2.6. Millaista tiedon havainnollinen esitys on mielestäsi parhaimmillaan?

3. Tuotannon mallinnuksen tuotosten tietosisältö ja niiden käyttö

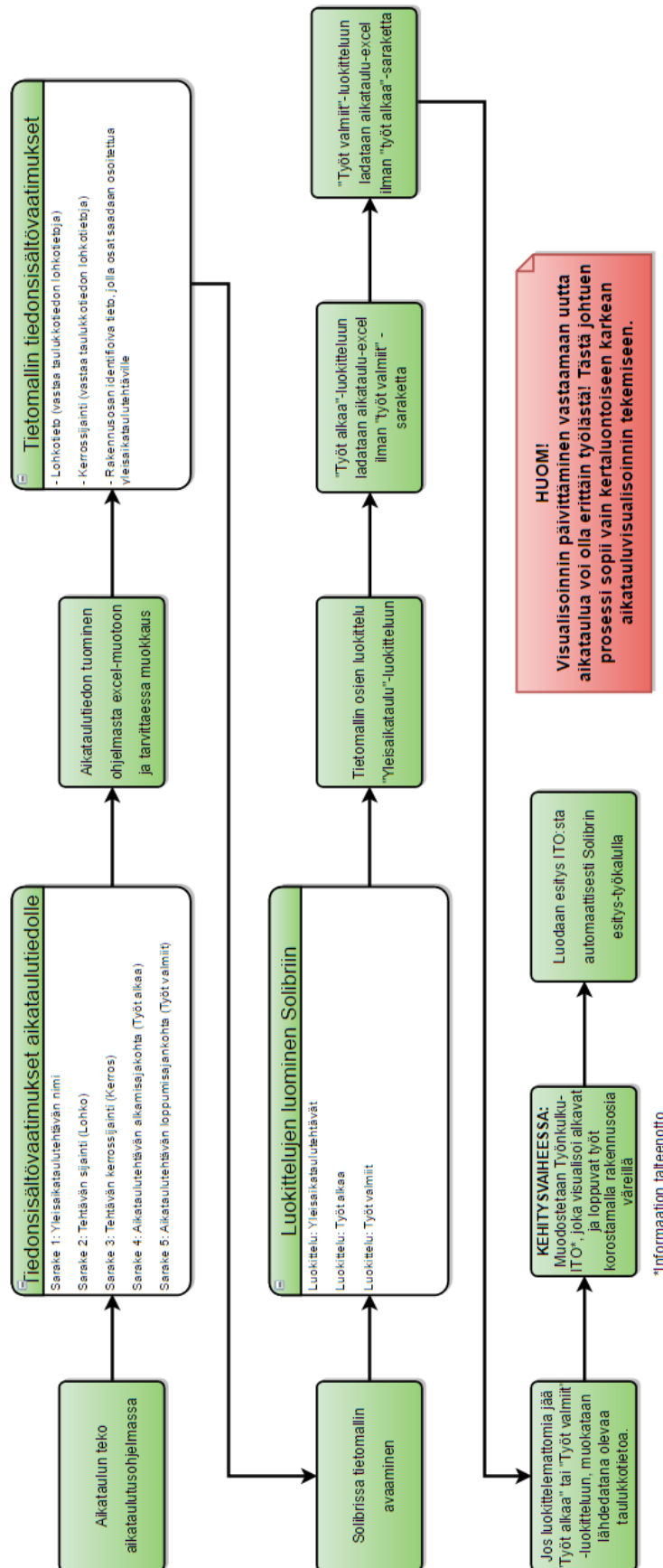
- 3.1. Mikä tällä hetkellä tuotoksista löytyvä tietosisältö palvelee parhaiten oman työsi sujuvaa kulkua?
- 3.2. Mikä uusi tietosisältö palvelisi parhaiten oman työsi sujuvaa kulkua?
- 3.3. Onko tietoa tarpeen jakaa erilaisiin osiin tai ryhmitellä, jäsenellä tai luokitella? Millä tavalla ja miksi?
- 3.4. Millä tarkkuustasolla tiedon tulee olla?
- 3.5. Missä muodossa rakentamisen valmistelusta tullutta tietoa olisi hyödyllisintä käyttää seuraavassa projektin vaiheessa?
- 3.6. Mitä puutteita tuotoksien tietosisällössä vielä on?
- 3.7. Mitä haasteita näet tiedon kulussa erilaisten työkalujen/ohjelmien välillä?

4. Muuta / Vapaa sana

- 4.1. Mikä on kaikista tärkeintä tuotannon suunnittelussa ja rakentamisen valmistelussa?
- 4.2. Jäikö jokin asia mietittävään?

Liite 4: Elementtiasennusaikataulun visualisointi tietomallin ja aikataulutiedon avulla Solibrissa

Elementtiasennusaikataulun visualisointi tietomallin ja aikataulutiedon avulla Solibrissa



Liite 5: Tuotannon mallinnuksen kehittäminen kohti virtuaalista rakentamista

